

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

MURILO HENRIQUE PFLEGER

ANÁLISE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÕES DE UM TRATOR CORTADOR DE GRAMA

Joinville
2020

MURILO HENRIQUE PFLEGER

ANÁLISE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÕES DE UM TRATOR CORTADOR DE GRAMA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Automotiva, no curso Engenharia Automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Antonio Fiorentin

Joinville
2020

MURILO HENRIQUE PFLEGER

ANÁLISE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE UM TRATOR CORTADOR DE GRAMA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Automotiva na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 31 de agosto de 2020.

Dr. Modesto Hurtado Ferrer
Coordenador do Curso

Murilo Henrique Pflieger
Estudante

Banca Examinadora:

Dr. Thiago Antonio Fiorentin
Orientador

Dr. Marcos Alves Rabelo
1º Membro

Dr. Andrea Piga Carboni
2º Membro

RESUMO

Com o crescente aumento no uso de tratores cortadores de grama, se faz necessário o controle dos níveis de vibração aos quais os operadores são expostos durante sua jornada de trabalho. Neste trabalho, apresenta-se uma análise sobre os níveis de vibração gerados pelo trator e para isso foram realizados testes a fim de caracterizar a transmissibilidade e a geração de vibração do trator nos pontos de contato com o operador. Estes pontos foram estabelecidos de acordo com as normas de higiene ocupacional brasileiras referentes a vibração de corpo inteiro e vibração em mãos e braços. Os testes foram realizados com e sem o uso de um isolador elastomérico para isolamento da vibração, foram escolhidos cinco pontos de interesse no trator, sendo estes, o banco, volante, assoalho, chassi e motor. A partir dos dados obtidos foram calculados os indicadores de vibração ocupacional, de modo que se fez possível a comparação das vibrações transmitidas para o operador com o estipulado pelas normas. Com os resultados obtidos foi constatado que para as condições mais extremas de operação, os valores de vibração não ficaram dentro do que a norma exige, de modo que precauções para o melhor controle e isolamento das vibrações devem ser tomadas. Ficou clara a diferença que o uso de um isolador de vibrações pode provocar na transmissibilidade de vibração ao operador, onde as reduções vistas chegaram na casa de 50% para o banco.

Palavras-chave: Vibração. Transmissibilidade. Isolador elastomérico. Trator cortador de grama

ABSTRACT

With the growing increase in the use of lawn mowers, it is necessary to control the vibration levels to which operators are exposed during their workday. In this study, will be presented an analysis of the vibration levels generated by the tractor and tests were carried out in order to characterize the transmissibility and the vibration generation of the tractor at the contact points with the operator. Those points were established in accordance with the Brazilian occupational hygiene standards regarding the vibration of the whole body and vibration in the hands and arms. The tests were carried out with and without the use of a elastomeric isolator, to isolate the vibration, five points of interest were chosen on the tractor, being them, the seat, the steering wheel, the floor, the chassis and the engine. From the obtained data, the occupational vibration indicators were calculated, so that it was possible to compare the vibrations transmitted to the operator with what is stipulated by the standards. With the results obtained it was found that for the most extreme operating conditions, the vibration values were not fall within what the standard requires, then precautions for the best control and isolation of vibrations must be taken. It was clear that, the difference in the use of a vibration isolator can cause in the transmission of vibration to the operator, this values reached 50% of reduction for the seat.

Keywords: Vibration. Transmissibility. Elastomeric isolator. Lawn mowers.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por acompanhar-me nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais, irmãs e família pelo amor, paciência e ajuda em todos os momentos que mais precisei.

Agradeço a minha namorada, pelo apoio, força e paciência quando mais precisei.

Agradeço ao professor Thiago Antonio Fiorentin, pela orientação e paciência nessa jornada, bem como todos professor que tive a alegria de encontrar no caminho da minha graduação.

Agradeço a todos amigos que compartilharam comigo os melhores momentos e estavam presentes nos mais difíceis, formando tão importante rede de apoio.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino, pelos momentos e pelo crescimento que tive dentro dela e que nunca irei me esquecer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração da superposição de 5 ondas simples em 1 onda complexa.	14
Figura 2 – Exemplo de ondas determinística e aleatória respectivamente.	15
Figura 3 – Componentes de estudo da vibração no corpo humano.	16
Figura 4 – Ilustração dos eixos de referência e do posicionamento do acelerômetro no assento.	17
Figura 5 – Ilustração dos eixos de referência para medição em mãos e braços.	18
Figura 6 – Esquema básico de medição de vibrações.	21
Figura 7 – Acelerômetros piezelétricos.	22
Figura 8 – Isolador de vibrações de elastômero.	23
Figura 9 – Isoladores de vibrações mecânico (cima) e pneumático (baixo).	24
Figura 10 – Trator utilizado nos testes.	27
Figura 11 – Acelerômetro Bruel & Kjaer.	29
Figura 12 – Analisador de sinais - LMS Pimento.	30
Figura 13 – Interface para conexões do analisador LMS Pimento.	31
Figura 14 – Posicionamento do acelerômetro no volante.	32
Figura 15 – Posicionamento do acelerômetro no motor com coxim.	32
Figura 16 – Posicionamento do acelerômetro no chassi.	33
Figura 17 – Posicionamento do acelerômetro no assoalho.	33
Figura 18 – Posicionamento do acelerômetro no banco.	34
Figura 19 – Aceleração média resultante no banco.	36
Figura 20 – Aceleração média resultante no motor.	37
Figura 21 – Aceleração média resultante no chassi.	38
Figura 22 – Aceleração média resultante no assoalho.	38
Figura 23 – Aceleração média resultante no volante.	39
Figura 24 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o motor.	40
Figura 25 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o motor.	40
Figura 26 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o banco.	41
Figura 27 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o banco.	41
Figura 28 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o chassi.	42
Figura 29 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o chassi.	42

Figura 30 – Transmissibilidade na ligação motor/chassi.	43
Figura 31 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o volante.	44
Figura 32 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o volante. .	44
Figura 33 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o assoalho.	45
Figura 34 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o assoalho.	45
Figura 35 – Fator de transmissibilidade do assento (S.E.A.T).	47
Figura 36 – Aceleração resultante de exposição normalizada para a jornada curta.	49
Figura 37 – Aceleração resultante de exposição normalizada para a jornada longa.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de multiplicação para cada eixo.	19
Tabela 2 – Ficha técnica do trator cortador de grama toyama.	28
Tabela 3 – Ficha técnica do motor monocilíndrico Briggs & Stratton.	28
Tabela 4 – Especificações do acelerômetro triaxial Bruel & Kjaer.	29
Tabela 5 – Especificações do analisador LMS Pimento	30
Tabela 6 – Condições utilizadas nas medições.	34
Tabela 7 – Quadro de critérios de julgamento e tomada de decisões para vibrações de corpo inteiro.	48
Tabela 8 – Quadro de critérios de julgamento e tomada de decisões para vibrações de corpo inteiro.	48
Tabela 9 – Jornadas adotadas para cálculo.	49
Tabela 10 – Comparação dos dados obtidos com as normas de corpo inteiro. . .	50
Tabela 11 – Comparação dos dados obtidos com as normas de mãos e braços. .	50
Tabela 12 – Comparação dos dados obtidos com as normas de corpo inteiro. . .	50
Tabela 13 – Comparação dos dados obtidos com as normas de mãos e braço. .	51

LISTA DE SÍMBOLOS

a_j	Aceleração instantânea na direção 'j'
am_j	Aceleração média na direção 'j'
amr	Aceleração média resultante
are	Aceleração resultante de exposição
$aren$	Aceleração resultante de exposição normalizada
$arep$	Aceleração resultante de exposição parcial
f_j	Fator de multiplicação para o eixo 'j'
m	Numero de componentes de exposição diária
n_i	Numero de repetições da componente i ao longo da jornada de trabalho
s	numero de amostras da componente de exposição
$SEAT$	Transmissibilidade efetiva do assoalho para o assento
T	Tempo da jornada de trabalho
T_0	Tempo padrão da jornada de trabalho equivalente a 8 horas
t_1, t_2	Instantes iniciais e finais de tempo de medição
T_i	Tempo de duração da componente de exposição i

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos Específicos	12
2	REVISÃO TEÓRICA	13
2.1	Vibrações Mecânicas	13
2.1.1	Graus de Liberdade de Vibração	13
2.1.2	Tipos de Vibração	13
2.1.2.1	Vibração Livre e Forçada	13
2.1.2.2	Vibração Amortecida e Não Amortecida	14
2.1.2.3	Vibração Linear e não Linear	14
2.1.2.4	Vibração Determinística e Aleatória	15
2.2	Vibrações no Corpo Humano	15
2.2.1	Vibração em Mãos e Braços	16
2.2.2	Vibrações de Corpo Inteiro	16
2.3	Medições de Vibração Ocupacional	16
2.3.1	Vibração de Corpo Inteiro	17
2.3.1.1	Medições em Assentos	17
2.3.1.2	Medições no Assoalho	18
2.3.2	Vibração em Mãos e Braços	18
2.4	Avaliação das Vibrações	18
2.4.1	Componentes de exposição	18
2.4.2	Aceleração média	19
2.4.3	Aceleração média resultante	19
2.4.4	Fator de assento (SEAT)	20
2.4.5	Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (aren)	20
2.5	Sistemas de Medição	20
2.5.1	Acelerômetros	21
2.5.1.1	Acelerômetros piezelétricos	22
2.5.2	Analisadores de sinais	22
2.6	Isoladores de Vibração	23
2.6.1	Principais tipos de isoladores de vibração	23
2.6.1.1	Isoladores de elastômeros	23
2.6.1.2	Outros tipos de isoladores	24
2.7	Vibrações em tratores	24

3	METODOLOGIA	27
3.1	Materiais e Equipamentos	27
3.1.1	Trator Utilizado	27
3.1.2	Acelerômetro	29
3.1.3	Analizador de sinais	30
3.2	Posicionamentos do Acelerômetro	31
3.3	Condições adotadas	34
3.4	Procedimentos de medição	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	Vibrações no Banco	36
4.2	Vibrações no motor	37
4.3	Vibrações no Chassi	37
4.4	Vibrações no Assoalho	38
4.5	Vibrações no Volante	39
4.6	Efeitos do coxim nos valores de aceleração	39
4.6.1	Motor	40
4.6.2	Banco	41
4.6.3	Chassi	42
4.6.4	Volante	44
4.6.5	Assoalho	45
4.6.6	Transmissibilidade no assento (S.E.A.T)	46
4.7	Comparação dos valores obtidos com as normas vigentes	47
4.7.1	Jornada curta (aren)	49
4.7.2	Jornada longa (aren)	50
5	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A utilização de tratores cortadores de grama cresce muito devido á facilidade proporcionada pelo seu uso, principalmente quando se tratam das manutenções de grandes áreas, a realização desse trabalho de maneira manual pode agregar trabalho, tempo e custo ao processo. Com relação ao uso desse equipamento, há um fator que deve ser considerado, este é a exposição ocupacional da vibração imposta ao operador.

Vibração é qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo (RAO, 2009). Para realizar um estudo sobre a exposição ocupacional a vibrações, devemos levar em consideração duas condições principais: a exposição de corpo inteiro e a exposição em mãos e braços. Segundo Griffin (1990), a vibração no corpo inteiro é caracterizada quando o corpo é suportado por uma superfície que está vibrando, seja sentado, de pé ou deitado. Já vibrações em mãos e braços ou vibrações transmitidas pela mão são caracterizadas por terem como ponto de origem as mão, porém podem ter efeitos no corpo inteiro.

Com relação as fontes de vibração atuando no trator, serão considerados os efeitos gerados pela rotação da lâmina de corte e pelo motor à combustão interna. Com relação a lâmina, um dos principais fatores a serem considerados são as vibrações torcionais no eixo e de flexão nas lâminas Segundo Turhan e Bulut (2006), quando trata-se de turbinas geralmente as falhas ligadas a vibrações se dão nas lâminas do rotor.

Tratando das vibrações geradas no motor, Boysal e Rahnejat (1997) explicam:

Vibrações torcionais em motores alternativos surgem devido as forças de combustão que são periodicamente aplicadas no cilindro e as forças inerciais de rotação [...] Outras contribuições são resultado da rotação excêntrica do mancal, rotação descentralizada do volante [...] (BOYSAL; RAHNEJAT, 1997, pg. 481, tradução nossa).

Visando uma melhor ergonomia para o usuário surge a preocupação com estudar os efeitos que a exposição as vibrações podem causar no corpo humano. Para lida e Guimarães (2016) algumas vibrações além de interferir na realização de certas tarefas, podem ainda causar lesões e doenças.

A exposição ocupacional à vibração em mãos e braços é associada a uma variedade de efeitos adversos na saúde do indivíduo, sendo coletivamente conhecidos como síndrome da vibração em mãos e braços. Já a exposição a vibração de corpo inteiro para pessoas sentadas é associada ao aumento do risco de lesões degenerativas

da coluna lombar, distúrbios no sistema nervoso central, e possíveis danos nos sistemas digestivo e genital/urinário (NEITZEL; YOST, 2002).

A fim de controlar os níveis de vibração as quais os operadores de maquinários e ferramentas são expostos, foram criadas normas reguladoras que visam estabelecer limites aceitáveis para as intensidades, frequências e tempo de exposição, com esse intuito. No Brasil foi estabelecido um conjunto de normas denominado Normas de Higiene Ocupacional (NHO), que tratam da exposição dos trabalhadores aos agentes ambientais, sendo que a exposição a vibrações ocupacionais de corpo inteiro e em mão e braços são abordadas respectivamente nas NHO 09 e NHO 10 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013a; CUNHA; GIAMPAOLI, 2013b).

Neste trabalho, serão, a partir da utilização de um acelerômetro e um analisador de dados, realizadas medidas experimentais no laboratório de sistemas veiculares do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com o intuito de medir os níveis de vibração ocupacionais transmitidos ao operador de um trator cortador de grama e propor soluções para atenuá-las. Para a realização das medidas dos níveis de vibração, o procedimento técnico realizado terá como base a norma "ISO 8041:2005 - Human response to vibration — Measuring instrumentation"(ISO:8041, 2005).

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os níveis de vibração gerados por um trator cortador de grama, investigar suas fontes e consequências e sugerir melhorias, visando entender e diminuir os problemas gerados pela exposição ocupacional a vibração mecânica em condutores de tratores cortadores de grama

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a. Identificar as fontes de vibração e seus fatores atenuantes no trator;
- b. Medir os níveis de vibração gerados no trator;
- c. Calcular os indicadores referentes a vibração ocupacional, de modo a quantificar os níveis de vibração transmitidos pelo trator;
- d. Analisar as normas referentes a exposição a vibrações ocupacionais, a fim de comparar com os dados obtidos;

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Vibrações Mecânicas

Segundo Rao (2009) pode ser definido como vibração, qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo. A vibração de um determinado sistema envolve a transferência alternada de sua energia potencial para energia cinética, e de energia cinética para potencial.

Para definir-se um sistema vibratório pode-se utilizar três propriedades principais, a rigidez ou elasticidade (energia cinética), a massa ou inércia (energia potencial) e o amortecimento. O amortecimento é a propriedade ligada a perda gradual da energia no sistema.

2.1.1 Graus de Liberdade de Vibração

Os graus de liberdade de sistema vibratório são dados pelo número mínimo de coordenadas para definir completamente as posições de todas as partes do sistema em qualquer instante de tempo (RAO, 2009).

Quando o sistema precisa de um número finito de graus de liberdade podemos dizer que este é um sistema discreto, porém existem sistemas, como por exemplo vigas, hastes ou placas finas, que tem um número infinito de graus de liberdade, isso se deve principalmente por estes sistemas serem formados por elementos deformáveis (elásticos).

2.1.2 Tipos de Vibração

Existem diversos tipos de classificação para vibrações mecânicas. As principais classificações são relacionadas ao tipo de excitação, ao amortecimento, a linearidade e a previsibilidade da excitação, estas podem ser vistas a seguir.

2.1.2.1 *Vibração Livre e Forçada*

Uma vibração é dita livre quando essa passou por uma excitação ou perturbação inicial e continuou a vibrar após o término da mesma, ou seja, o sistema vibra sem uma força externa agindo sobre ele.

Quando o sistema vibra sujeito a uma excitação externa, essa condição é chamada de vibração forçada. Essas excitações podem, às vezes, ser representadas

por um esforço oscilatório, com uma amplitude e uma frequência de excitação.

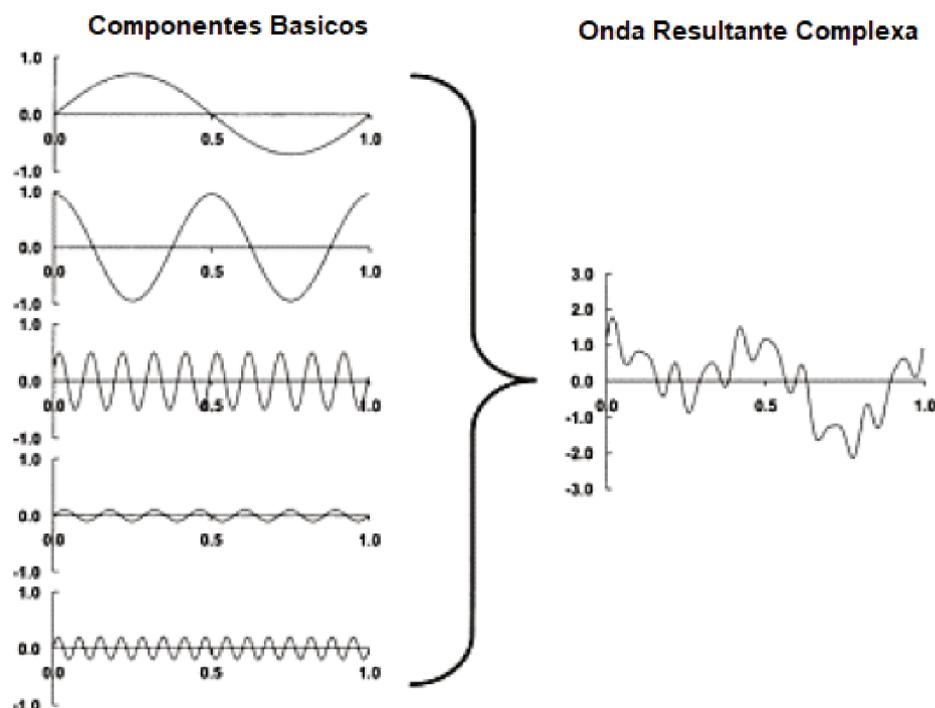
2.1.2.2 *Vibração Amortecida e Não Amortecida*

O amortecimento de um sistema vibratório está ligado diretamente com a quantidade de energia dissipada após um intervalo de tempo. Um sistema é não amortecido quando não há dissipação de energia com o avanço tempo, e um sistema é amortecido quando existe dissipação da energia.

2.1.2.3 *Vibração Linear e não Linear*

Para que a vibração de um sistema seja considerada linear todos os componentes básicos desse sistema devem ter um comportamento linear (rigidez, massa/inércia e amortecimento), nesse caso o princípio da superposição pode ser aplicado, o que facilita muito as análises do problema de vibrações. Na Figura 1 podemos ver um exemplo de aplicação do princípio da superposição para uma serie de ondas com diferentes frequências e amplitudes, de modo a formar uma onda resultante e complexa.

Figura 1 – Ilustração da superposição de 5 ondas simples em 1 onda complexa.



Fonte: Adaptada de Mansfield (2004)

Para vibrações não lineares o princípio da superposição não pode ser aplicado, e as técnicas de análise são bem menos conhecidas. Porém todos sistemas tendem a

comportar-se de maneira não linear com o aumento da amplitude de oscilação, logo esses estudos são fundamentais (RAO, 2009).

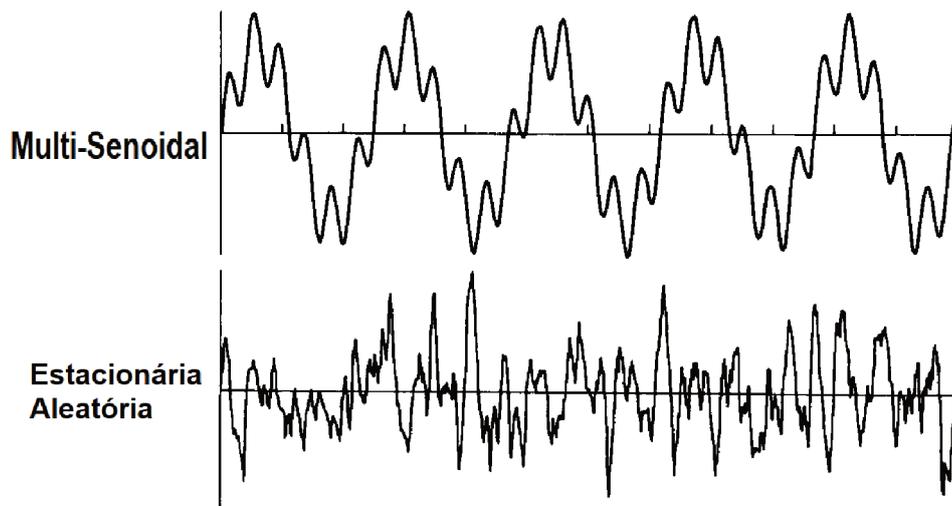
2.1.2.4 Vibração Determinística e Aleatória

Uma vibração é denominada determinística quando a magnitude da excitação agindo sobre esta é conhecida a qualquer instante de tempo.

Nos casos onde a excitação não é conhecida, e/ou é aleatória, a vibração resultante pode ser chamada de vibração aleatória. Nesses casos os comportamentos podem depender de um grande número de registros da excitação, a fim de estabelecer uma regularidade estatística que represente o sistema (RAO, 2009).

Na Figura 2 podemos ver alguns exemplos de ondas, onde é possível identificar uma onda multi-senoidal, que tem um comportamento determinístico, e uma onda estacionária aleatória.

Figura 2 – Exemplo de ondas determinística e aleatória respectivamente.



Fonte: Adaptado de Griffin (1990)

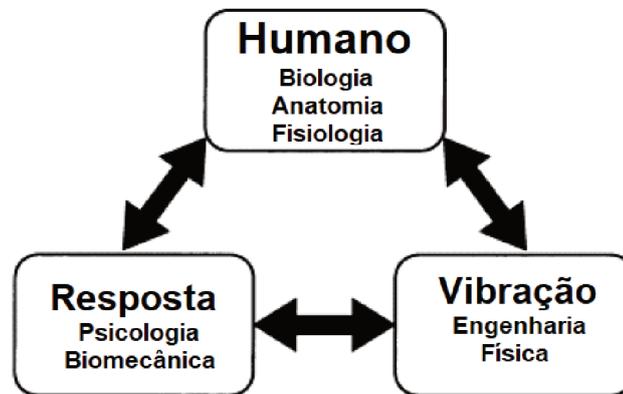
2.2 Vibrações no Corpo Humano

Os seres humanos estão expostos a vibrações ao realizar as mais diversas atividades, porém, quando temos a exposição constante e por longos períodos de tempo, estas podem passar a ser prejudiciais à saúde e ao bem estar do indivíduo.

A vibração no corpo humano é um assunto multidisciplinar que engloba conceitos de diversas disciplinas como por exemplo engenharias, ergonomia, medicina, psicologia e muitas outras (GRIFFIN, 1990). Na Figura 3 podemos observar um esquema que ilustra as diversas áreas de atuação que englobam os estudos da

vibração no corpo humano.

Figura 3 – Componentes de estudo da vibração no corpo humano.



Fonte: Adaptado de Mansfield (2004)

Segundo Mansfield (2004) as pessoas estão expostas a dois tipos principais de vibrações, as localizadas e as de corpo inteiro.

2.2.1 Vibração em Mãos e Braços

As vibrações localizadas, normalmente, são as que afetam as mãos e os braços de um usuário, que segura um equipamento ou objeto vibratório com as mãos. Estas são também usualmente chamadas de vibrações em mãos e braços (HAV) ou vibrações transmitidas pelas mãos (HTV). As principais frequências no estudo de vibrações em mãos e braços estão entre 8 e 1000 Hz.

2.2.2 Vibrações de Corpo Inteiro

Vibrações de corpo inteiro (WBV) são as que podem afetar toda a pessoa exposta, estas são usualmente transmitidas por assentos ou pelo chão, tanto para pessoas sentadas, de pé ou deitadas. "Vibrações de corpo inteiro podem afetar o conforto, a performance, e a saúde, dependendo da magnitude, forma de onda e tempos de exposição"(MANSFIELD, 2004). As principais frequências de interesse no estudo das vibrações de corpo inteiro são relativamente baixas e estão entre 1 e 20 Hz, e frequências menores do que 1 Hz podem causar problemas relacionados a "Motion Sickness", que são desconfortos gerador por excitações em baixa frequência, gerando enjoos, tontura e mal estar.

2.3 Medições de Vibração Ocupacional

Com o intuito de medir os níveis de vibração, as quais, o corpo humano será submetido na utilização do trator cortador de grama, foram adotadas as metodologias

indicadas pelas respectivas normas NHO e ISO (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013a; CUNHA; GIAMPAOLI, 2013b; ISO:8041, 2005), que tratam tanto das medições e análises da vibração ocupacional em mãos e braços quanto de corpo inteiro. O procedimento consiste no levantamento dos níveis de aceleração gerados em três pontos específicos do trator de modo a mensurar exposição do usuário, esses pontos foram no volante, no assento e no ponto de contato dos pés do condutor.

2.3.1 Vibração de Corpo Inteiro

Para a obtenção dos níveis de vibração transmitidos, foram estabelecidos os critérios de medição. Na Figura 4 podemos ver um exemplo da montagem dos acelerômetros em um banco para avaliação da vibração de corpo inteiro para um condutor de veículo sentado.

Figura 4 – Ilustração dos eixos de referência e do posicionamento do acelerômetro no assento.



Fonte: Cunha e Giampaoli (2013a).

Segundo Cunha e Giampaoli (2013a), as medições devem ser feitas no ponto de medição de forma que os resultados sejam representativos da exposição ocupacional. Em determinadas situações de trabalho, nas quais as atividades são realizadas em pé, as medições terão de ser feitas com acelerômetros fixados no piso.

Ainda segundo Cunha e Giampaoli (2013a), com relação a fixação na montagem deve-se ter o cuidado para que essa não promova um fraco acoplamento entre o transdutor e a superfície vibrante, podendo assim comprometer os resultados obtidos. Também com relação a montagem dos acelerômetros deve haver o cuidado com a disposição e fixação dos cabos de conexão ao medidor, que deve ser feito de modo a não introduzir sinais indesejados durante a medição.

2.3.1.1 Medições em Assentos

Segundo Griffin (1990) a interface entre o corpo do condutor e o assento deve ser feita de modo que o acelerômetro fique posicionado entre o corpo e assento. É importante que a fixação do acelerômetro não prejudique a interface ou a dinâmica do assento.

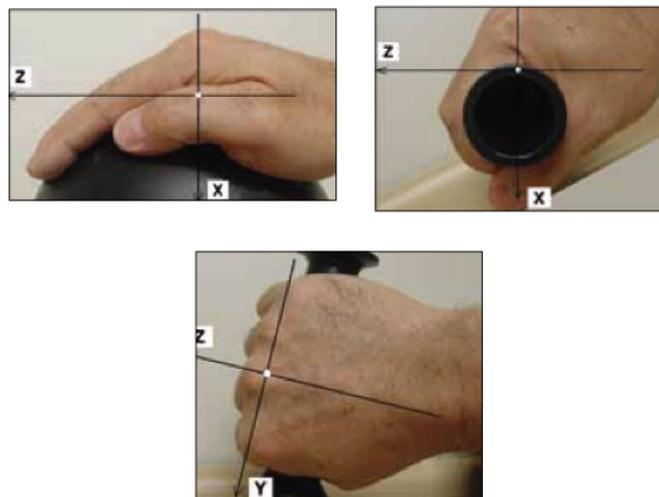
2.3.1.2 Medições no Assoalho

As vibrações no pé do usuário sentado, considerando que a superfície do assoalho é rígida, podem ser medidas posicionando os transdutores nessas superfícies, próxima aos pés.

2.3.2 Vibração em Mãos e Braços

Segundo Cunha e Giampaoli (2013b) as medições da vibração transmitidas às mãos e braços devem seguir os três eixos de referência como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Ilustração dos eixos de referência para medição em mãos e braços.



Fonte: Cunha e Giampaoli (2013b).

A montagem do sensor deve ser realizada de modo que o ponto de medição represente as medições transmitidas para o usuário, de acordo com Cunha e Giampaoli (2013b), para casos onde os níveis de aceleração sofrerem grandes diferenças entre as mãos, as medições devem ser realizadas na mão exposta aos maiores níveis.

2.4 Avaliação das Vibrações

Aqui serão listadas alguns critérios e equações que segundo Cunha e Giampaoli (2013a), Cunha e Giampaoli (2013b) serão utilizados nas análises para a caracterização do trator cortador de grama.

2.4.1 Componentes de exposição

São chamados componentes de exposição os diferentes processos e condições de trabalho impostos ao operador exposto as vibrações, que juntos caracterizam por completo a jornada de trabalho ao qual este operador está submetido. Segundo Cunha e Giampaoli (2013a) a identificação dos ditos componentes de exposição devem ser

dadas por meio de uma avaliação qualitativa, detalhada e cuidados, do processo e das condições de trabalho, considerando diversos aspectos, como por exemplo, desde variações do tipo de equipamento utilizado, variações na aplicação do maquinário ou até modos de condução e operação inerentes a cada operador.

Ainda segundo Cunha e Giampaoli (2013a), quando a exposição diária compreender duas ou mais componentes de exposição, a exposição ocupacional diária se dá pela combinação dos dados obtidos para cada uma das componentes.

2.4.2 Aceleração média

É a raiz média quadrática (r.m.s) dos diversos valores de aceleração instantânea (a_j), na direção j , onde j representa os eixos de referência como mostrado nas Figuras 4 e 5, para vibrações de corpo inteiro e vibrações em mão e braços respectivamente.

$$am_j = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

Onde $t_2 - t_1$ representa o intervalo de medição.

2.4.3 Aceleração média resultante

Corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações médias, medidas para os três eixos de referência.

$$amr = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2} \quad (2.2)$$

Onde am_j é a aceleração média para o eixo j e f_j é o fator de multiplicação para cada eixo j , apresentados na Tabela 1, onde podemos ver os valores a serem adotados para cada fator.

Tabela 1 – Fatores de multiplicação para cada eixo.

	WBV	HAV
f_x	1,4	1,0
f_y	1,4	1,0
f_z	1,0	1,0

Fonte: Adaptada de Cunha e Giampaoli (2013a), Cunha e Giampaoli (2013b)

Estes fatores apresentados na tabela 1, são referentes ao impacto que as vibrações no respectivo eixo resultam no operador do maquinário, de modo que, nas vibrações de corpo inteiro, as vibrações na direção dos eixos "x" e "y" são consideradas mais prejudiciais de acordo com a norma Cunha e Giampaoli (2013a).

2.4.4 Fator de assento (SEAT)

SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility) é o valor que representa a transmissibilidade efetiva que passa do assoalho ao assento. Pode ser calculado pela equação 2.3 (ADAM; JALIL, 2017).

$$SEAT_{rms}\% = \frac{amr_{seat}}{amr_{floor}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Valores menores que 100% representam um isolamento exercido pelo assento na vibração transmitida até o condutor.

2.4.5 Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (aren)

A aceleração resultante de exposição normalizada (aren) representa a exposição ocupacional diária a qual um determinado usuário está submetido durante a sua jornada de trabalho com relação a jornada padrão de 8 horas. O cálculo dessa se dá por meio da equação 2.4.

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.4)$$

Onde, T é o tempo da jornada de trabalho em horas, T_0 equivale a 8 horas e are representa a aceleração resultante de exposição dada pela equação 2.5.

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i} \quad (2.5)$$

Onde, T é o tempo da jornada diária de trabalho, m é o número de componentes de exposição que compõe a exposição diária, n_i é número de repetições da componente "i" ao longo da jornada de trabalho, T_i é o tempo de duração da componente de exposição "i" e $arep_i$ é a aceleração resultante de exposição parcial referente a componente de exposição "i" e pode ser calculada pela equação 2.6.

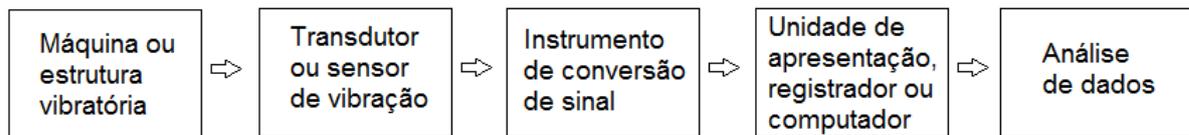
$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik} \quad (2.6)$$

Onde, s é o número de amostras da componente de exposição "i" e amr_{ik} é a aceleração média resultante referente a amostra "k" da componente de exposição "i".

2.5 Sistemas de Medição

Segundo Rao (2009), os aspectos básicos de uma medição de vibrações consistem no processo onde o movimento do corpo vibratório é convertido em um sinal elétrico por um transdutor ou sensor de vibração. Na Figura 6 pode-se observar um

Figura 6 – Esquema básico de medição de vibrações.



Fonte: Rao (2009)

esquema básico que representa esse processo.

Ainda de acordo com Rao (2009), devido ao sinal de saída dos transdutores ser muito pequeno, se faz necessário o uso de um instrumento de conversão de sinal para amplificar o sinal até o valor requerido, então a saída desse conversor de sinal, pode ser apresentada gráfica e visualmente, e armazenada para processamento e análise.

Sobre as considerações que costumam determinar o tipo de instrumento de medição de vibração a ser usado, Rao (2009) explica:

(1) faixas esperadas de frequência e amplitudes, (2) tamanho das máquinas/estruturas envolvidas, (3) condições de operação da máquina/equipamento/estrutura e (4) tipo de processamento de dados usado [...] (RAO, 2009, pg. 345).

A partir de uma análise sobre o fenômeno de interesse do estudo é possível assim determinar os tipos de instrumentos que devem ser utilizados.

2.5.1 Acelerômetros

A definição dada por Rao (2009) para acelerômetros é que "Um acelerômetro é um instrumento que mede a aceleração de um corpo vibratório. Acelerômetros são amplamente usados para medir vibração e para registrar terremotos"(RAO, 2009).

O princípio de funcionamento de um acelerômetro pode variar de acordo com o tipo de transdutor usado na sua fabricação. Rao (2009) separa os transdutores utilizados para medições de vibrações em quatro tipos principais, dependendo do seu princípio de funcionamento, são esses:

- Transdutores de resistência variável: Ao ser sujeito a um movimento mecânico, é produzida uma mudança na resistência elétrica no sensor.
- Transdutores eletrodinâmicos: Um condutor em forma de um solenoide é movimentado em um campo magnético, gerando um sinal de tensão.
- Transdutor transformador diferencial linear variável: Um núcleo magnético é posicionado entre três bobinas, de modo que fique livre para se movimentar

entre estas. O movimento do núcleo gera uma alteração na tensão de saída do transdutor.

- Transdutores piezelétricos: São utilizados materiais que geram uma carga elétrica quando sujeitos a uma deformação ou tensão mecânica.

2.5.1.1 Acelerômetros piezelétricos

Segundo Endevco (2017), os acelerômetros piezelétricos são os mais utilizados para aplicações de teste e medições. Ainda de acordo com Endevco (2017):

Esses dispositivos oferecem uma grande faixa de frequências de medição (desde poucos Hz até 30 kHz) e estão disponíveis em uma grande variedade de sensibilidades, pesos, tamanhos e formatos. Estes acelerômetros devem ser considerados tanto para medições de impacto quanto de vibrações. (ENDEVCO, 2017, pg. 2, tradução nossa).

Na Figura 7 pode-se observar um exemplo de dois tipos de acelerômetros piezelétricos.

Figura 7 – Acelerômetros piezelétricos.



Fonte: Endevco (2017)

Outro fator importante na determinação de qual acelerômetro deve ser usado para uma determinada condição de teste, é a massa do acelerômetro, segundo Endevco (2017), a massa de um acelerômetro não deve ser maior que 10 % da massa do objeto a ser testado.

2.5.2 Analisadores de sinais

Com a análise de sinal, "determinamos a resposta de um sistema sob uma excitação conhecida e apresentamos em uma forma conveniente"(RAO, 2009), um exemplo é a apresentação de resultados no domínio da frequência, que podem ser obtidos a partir da conversão dos dados originalmente no domínio do tempo. No domínio da frequência pode-se, por exemplo, analisar as frequências naturais e evitar possíveis problemas com ressonância. Com o uso de analisadores de sinais é possível além de utilizar os filtros de faixa de frequência, ainda aplicar operações de modo a normalizar as ondas obtidas, como por exemplo a obtenção de um valor efetivo para a aceleração (RMS).

2.6 Isoladores de Vibração

Segundo Rao (2009), isolamento de vibração é o procedimento onde os efeitos indesejáveis provindos da vibração são reduzidos. "Basicamente, envolve a inserção de um membro resiliente (ou isolador) entre a massa vibratória (ou equipamento, ou carga útil) e a fonte de vibração [...]"(RAO, 2009).

2.6.1 Principais tipos de isoladores de vibração

Existem diversos tipos de isoladores de vibração no mercado, variando de acordo com o tipo de aplicação, massa suportada, frequências de ressonância e modo de funcionamento.

2.6.1.1 *Isoladores de elastômeros*

São isoladores feitos a partir de borrachas, que utilizam das propriedades desses materiais para dissipar a energia cinética provinda da vibração e são menos complexos que outros tipos de isoladores. De acordo com Graham (2000):

"Isoladores feitos de elastômeros são utilizados em aplicações onde são requeridas pequenas deflexões estáticas. Se utilizados com cargas estáticas maiores, os elastômeros são sujeitos a fluência, reduzindo sua efetividade com o passar do tempo."(GRAHAM, 2000, pg. 414, tradução nossa).

Na Figura 8, pode-se observar um exemplo de isolador de vibração a base de elastômeros.

Figura 8 – Isolador de vibrações de elastômero.



Fonte: Newport (2020b)

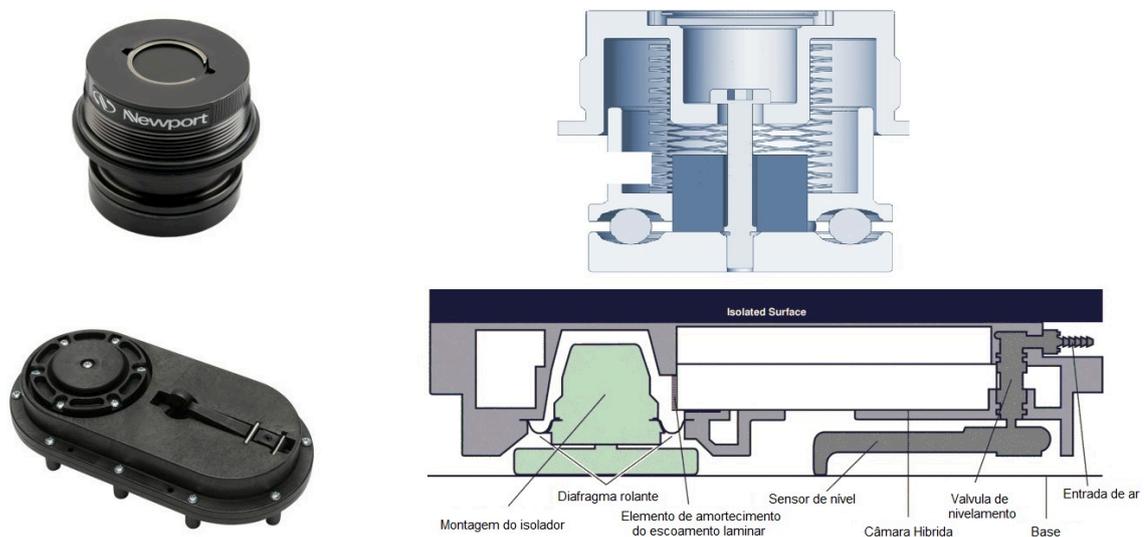
Os isoladores de vibrações como da Figura 8, são normalmente fornecidos junto com as suas medidas geométricas, capacidade de carga, dureza e a aplicação sugerida. A partir das informações do catálogo é preciso fazer a seleção do isolador, com base nas necessidades da aplicação desejada.

O controle realizado por este tipo de isoladores é passivo. Segundo Lallart (2010), os sistemas de controle passivo consistem no sistema onde não há injeção de energia.

2.6.1.2 Outros tipos de isoladores

Além dos isoladores de elastômeros, existem modelos mais complexos de isoladores, estes podem utilizar sistemas mecânicos, pneumáticos, hidráulicos, elétricos ou combinações desses. Na Figura 9 pode-se observar um isolador mecânico e um isolador de vibrações pneumático respectivamente.

Figura 9 – Isoladores de vibrações mecânico (cima) e pneumático (baixo).



Fonte: Adaptada de Newport (2020a), Newport (2020c)

Com o aumento da complexidade dos isoladores utilizados, pode-se incluir a possibilidade ainda da utilização de um sistema de controle ativo de vibrações. De acordo com Lallart (2010), um sistema ativo é aquele que utiliza o feedback da resposta do sistema, por meio de sensores, para agir sobre o sistema.

2.7 Vibrações em tratores

Devido ao interesse em diminuir os efeitos prejudiciais da exposição de vibrações aos operadores, é importante que sejam realizados estudos a fim de melhor entender as variáveis e implicações relacionadas à vibrações em tratores. De acordo com Cvetanovic et al. (2017), durante as operações diárias com tratores, os operadores são exposto a diversos fatores que geram efeitos prejudiciais, um destes fatores é a exposição a vibrações. Sobre vibrações em tratores, Cvetanovic et al. (2017) diz ainda:

Os impactos negativos das vibrações são evidentes especialmente nos modelos antigos de tratores, que não estão equipados com os sistemas apropriados de suspensão contra impactos e absorção de vibrações. Esses tratores têm bom desempenho no trabalho, porém não são confortáveis em termos de vibração, ou seja, eles não tem capacidade para reduzir as vibrações aos menores níveis possíveis. [...] (CVETANOVIC et al., 2017, pg. 117, tradução nossa).

Na literatura pode-se encontrar diversos fatores que influenciam nas transmissões de vibração em tratores, bem como, estudos analisando o impacto destes.

Na pesquisa realizada por Cvetanovic et al. (2017), foi feito um estudo sobre a influência do material dos assentos do trator nas vibrações de corpo inteiro transmitidas ao operador. Para realização desse estudo foram utilizados dois tipos de tratores, onde o autor compara os níveis de vibração ao realizar a troca do material dos bancos originais por três diferentes tipos de bancos com materiais isolantes de vibração, foram eles: Esponja comprimida, ar e água. Assim, Cvetanovic et al. (2017) chegou a resultados que mostram que a mudança do material no assento pode gerar uma diminuição considerável para os níveis de vibração transmitidos ao operador, e não deve ser descartado como uma possível solução para diminuição da vibração ocupacional de um trator.

A utilização de coxins para isolamento de vibrações também é uma tática adotada para atenuar os efeitos da exposição ocupacional a vibração. No estudo realizado por Pinho et al. (2014), foi feita a instalação de um coxim elastomérico a fim de isolar a cabine de operação de um trator agrícola. Os resultados obtidos mostraram que o uso do coxim resultou em uma amplificação dos níveis de vibração na faixa de frequência entre 0 a 15 Hz, faixa essa que segundo Pinho et al. (2014) que contém intervalos críticos para o corpo, resultando assim em uma avaliação de baixa eficiência de amortecimento para o coxim utilizado.

Além do uso do coxim o estudo de Pinho et al. (2014) trata ainda da velocidade de operação, do tipo de lastro (lastragem), e da profundidade de escarificação como fatores atenuantes para a vibração, a chamada lastragem trata da distribuição de massa nos eixos do trator. Em estudo semelhante, Sandi et al. (2018) também testa a influência do tipo de lastro e das velocidades de operação nos níveis de vibração no trator. Nos resultados obtidos por Sandi et al. (2018), foi possível observar que para uma jornada de 8 horas, independente das condições os níveis de vibração estão acima do desejado ou na região de incerteza. Outro fator que pode ser considerado na operação de um trator é o efeito da estrada onde ele está sendo operado, no estudo realizado por Kabir et al. (2017), foram consideradas quatro tipos de estrada, foram elas estradas de asfalto, concreto, terra e grama. Os testes foram realizados variando a velocidade de operação, e os resultados obtidos mostram que para todos os tipos estrada os níveis de vibração encontrados podem gerar riscos a saúde do operador.

Analisando os estudos de Cvetanovic et al. (2017), Santos et al. (2014), Sandi et al. (2018), Kabir et al. (2017), Pinho et al. (2014) é possível perceber que os níveis de vibração a quais os operadores de tratores são expostos podem ser prejudiciais a sua saúde, principalmente quando em cargas horárias de trabalho elevadas. A fim de evitar os riscos a saúde uma possível solução é diminuir o tempo de exposição a vibrações, porém há ainda a opção de tomar medidas para diminuir os níveis de vibração transmitidas pelo equipamento, e isso só é possível com o auxílio de estudos devido a complexidade dos fatores envolvidos.

3 METODOLOGIA

Seguindo as orientações das normas de higiene ocupacional Cunha e Giampaoli (2013a), Cunha e Giampaoli (2013b) e a norma ISO:8041 (2005) "Human response to vibration – Measuring instrumentation", foram estipulados os métodos e equipamentos a serem utilizados nas medições.

3.1 Materiais e Equipamentos

Aqui estão listados os principais materiais e equipamentos utilizados para realização das instrumentações, bem como algumas características relevantes para as análises futuras.

3.1.1 Trator Utilizado

O trator utilizado nas medições foi o 42/7 Speed da fabricante Toyama, que pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Trator utilizado nos testes.



Fonte: O autor(2019).

Na Tabela 2 pode-se observar os dados técnicos referentes ao trator utilizado como objeto de teste.

Tabela 2 – Ficha técnica do trator cortador de grama toyama.

Informações Técnicas	
Tipo do motor	Monocilíndrico, 4 tempos, refrigerado à ar, Briggs & Stratton
Potência máxima	17,5 HP
Combustível	Gasolina
Rotação máxima	3400 Rpm
Capacidade do tanque	5.7 L
Sistema de partida	Elétrica
Velocidade para frente	8,8 Km/h
Velocidade reversa	2,7 Km/h
Transmissão	Manual 7 velocidades
Largura de corte	42"ou 1066 mm
Rodas dianteiras	15"x6"
Rodas traseiras	20"x8"

Fonte: Adaptado de Toyama (2019).

Na Tabela 3 podemos ver os dados referentes ao motor do trator, fabricado pela Briggs & Stratton.

Tabela 3 – Ficha técnica do motor monocilíndrico Briggs & Stratton.

Informações Técnicas	
Modelo: 310000/31R9070038G1	
Cilindrada	30.59 ci (501 cc)
Cilindro	3.563 in (90,49 mm)
Curso	3.062 in (77,77 mm)
Capacidade de óleo - sem filtro	42 - 44 oz (1,24 - 1,30 L)
Capacidade de óleo - com filtro	46 - 48 oz (1,36 - 1,40 L)

Fonte: Adaptado de Stratton (2020)

3.1.2 Acelerômetro

Foi utilizado nas medições realizadas o acelerômetro triaxial TIPO 4535-B da Bruel & Kjaer, que pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Acelerômetro Bruel & Kjaer.



Fonte: Kjaer (2020)

Na Tabela 4 pode-se observar algumas especificações importantes do acelerômetro.

Tabela 4 – Especificações do acelerômetro triaxial Bruel & Kjaer.

Especificações Técnicas	
Acelerômetro Triaxial Tipo 4535-B, Número de Série: 30676	
Massa	6 gramas
Faixa de Frequência	X 0,3 até 10000 Hz
	Y 0,3 até 10000 Hz
	Z 0,3 até 12800 Hz
Montagem	Parafuso ou adesivo

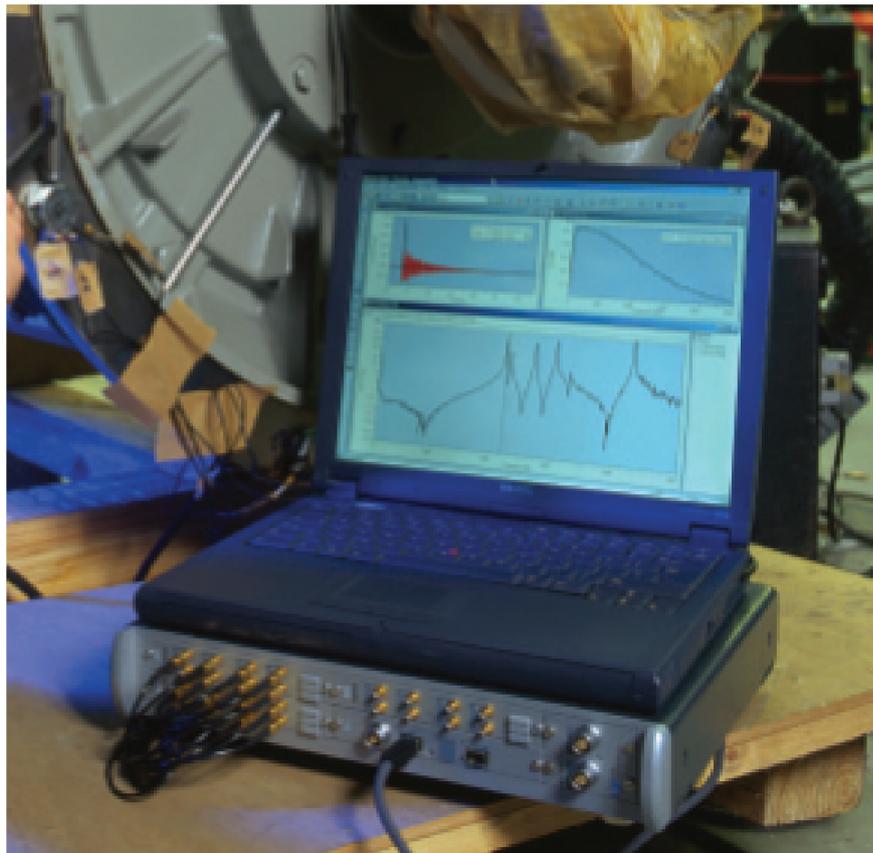
Fonte: Adaptada de Kjaer (2020)

Como visto na Tabela 4, o acelerômetro tem uma faixa de atuação que permite a realização de medições tanto em baixas frequências quanto na casa dos 10 kHz, isto aliado ao tamanho compacto e a facilidade de montagem permite a aplicação deste acelerômetro em diversas áreas. Segundo Kjaer (2020), o acelerômetro Bruel & Kjaer tipo 4535-B é utilizado, por exemplo, em medições de teste estrutural, Chassi e Powertrain automotivos, entre outros.

3.1.3 Analisador de sinais

Para a realização das medições foi feito o uso do analisador de sinais LMS Pimento para instrumentação e processamento dos dados, este possibilita medições para acústica e as mais diversas aplicações para vibrações, como por exemplo, testes de maquinário rotacional, testes estruturais, análises modais entre outros. Na Figura 12 pode-se ver o analisador utilizado.

Figura 12 – Analisador de sinais - LMS Pimento.



Fonte: LMS (2003)

Na Tabela 5, é possível observar algumas das especificações do analisador tratando das medições de vibrações.

Tabela 5 – Especificações do analisador LMS Pimento

Especificações Técnicas	
Analisador LMS Pimento - P103 DT, Número de Série: 50053904	
Canais	24
Frequência Máxima	Até 100 kHz
Pós-Processamento	Bandas de oitava, arranjos, espectro e domínio do tempo.

Fonte: Adaptada de LMS (2003)

Na Figura 13 é mostrada a interface de conexão de cabos e sensores no analisador.

Figura 13 – Interface para conexões do analisador LMS Pimento.



Fonte: Adaptada de LMS (2003)

Como pode ser visto na Figura 13, o uso do analisador LMS Pimento se faz interessante devido a possibilidade de utilizar 24 canais, possibilitando assim o uso de até 8 acelerômetros tri-axiais, além de possibilitar a conexão direta a um computador para análise e processamento dos dados.

3.2 Posicionamentos do Acelerômetro

Com o intuito de fazer uma caracterização mais completa possível da vibração do equipamento foram adotados cinco pontos principais de medição, três relacionados a transmissibilidade ao operador, sendo eles, um relacionado ao contato das mãos com o volante, um segundo no contato dos pés com o assoalho, e um último no banco para medir as transmissões ao condutor sentado, e dois para referência da vibração no motor, sendo, um diretamente no motor e outro no chassi próximo ao ponto de fixação do motor com este.

As medições realizadas no volante têm o objetivo de melhor compreender os níveis de vibração que são transmitidos às mãos e braços do operador. Na Figura 14 pode-se observar o posicionamento do acelerômetro no volante do trator cortador de grama.

Figura 14 – Posicionamento do acelerômetro no volante.



Fonte: O autor(2020).

Os níveis de vibração no motor, por ser uma das fontes principais de vibração, pode ser utilizado para indicar a transmissibilidade da ligação motor/chassi, de modo a melhor mensurar a ação do coxim na atenuação da vibração. Na Figura 15 pode-se ver a disposição do acelerômetro no motor, na imagem é possível também observar o posicionamento do coxim.

Figura 15 – Posicionamento do acelerômetro no motor com coxim.



Fonte: O autor(2020).

Para melhor compreender a transmissibilidade na ligação motor/chassi com ou sem coxim foram realizadas as medições também no chassi. Na Figura 16 é possível visualizar o posicionamento do acelerômetro no chassi.

Figura 16 – Posicionamento do acelerômetro no chassi.



Fonte: O autor(2020).

As medições realizadas no assoalho são importantes, pois principalmente no caso do implemento acoplado os níveis transmitidos aos pés do operador podem ser elevados. Na Figura 17 pode-se observar o posicionamento do acelerômetro no assoalho.

Figura 17 – Posicionamento do acelerômetro no assoalho.



Fonte: O autor(2020).

O banco é o maior transmissor de vibrações para o operador do trator, portanto as medições realizadas neste são importantes para a caracterização final do trator. Além dos níveis de vibração que chegam ao operador, também é possível definir a transmissibilidade do assento e a eficiência do sistema de atenuação deste. Na Figura

18 pode-se observar o posicionamento do acelerômetro na parte inferior do banco.

Figura 18 – Posicionamento do acelerômetro no banco.



Fonte: O autor(2020).

3.3 Condições adotadas

Para realizar a caracterização da vibração no trator, foram adotadas algumas condições de funcionamento, de modo que as medições compreendam o máximo possível da operação do trator. Na Tabela 6 podemos ver as condições adotadas.

Tabela 6 – Condições utilizadas nas medições.

Condição		
Sem Coxim		
1 ^a	Baixa Rotação	Sem Implemento
2 ^a	Baixa Rotação	Com Implemento
3 ^a	Alta Rotação	Sem Implemento
4 ^a	Alta Rotação	Com Implemento
Com Coxim		
5 ^a	Baixa Rotação	Sem Implemento
6 ^a	Baixa Rotação	Com Implemento
7 ^a	Alta Rotação	Sem Implemento
8 ^a	Alta Rotação	Com Implemento

Fonte: Autor(2020).

Como visto na Tabela 6, foram adotadas oito condições de funcionamento, alterando a velocidade de rotação do motor, o estado da lâmina entre ligada e a utilização ou não de coxins no motor.

3.4 Procedimentos de medição

As medições foram realizadas no laboratório de sistemas veiculares do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Para a fixação do acelerômetro foi utilizado uma ponta magnética para as medições em superfícies metálicas e o nas superfícies não metálicas o acelerômetro foi colado, garantindo assim uma rigidez na fixação de modo a permitir a melhor captação dos movimentos oscilatórios.

Devido a falta de disponibilidade de equipamento os testes não foram realizados simultaneamente em mais de um ponto. Deste modo, após o posicionamento do acelerômetro em cada ponto, foram realizadas as medições nas duas velocidades de rotação do motor com e sem o uso do implemento. Após serem feitas as medições nos 5 pontos, foi então feita a instalação do coxim, e as medições foram repetidas com a mesma metodologia.

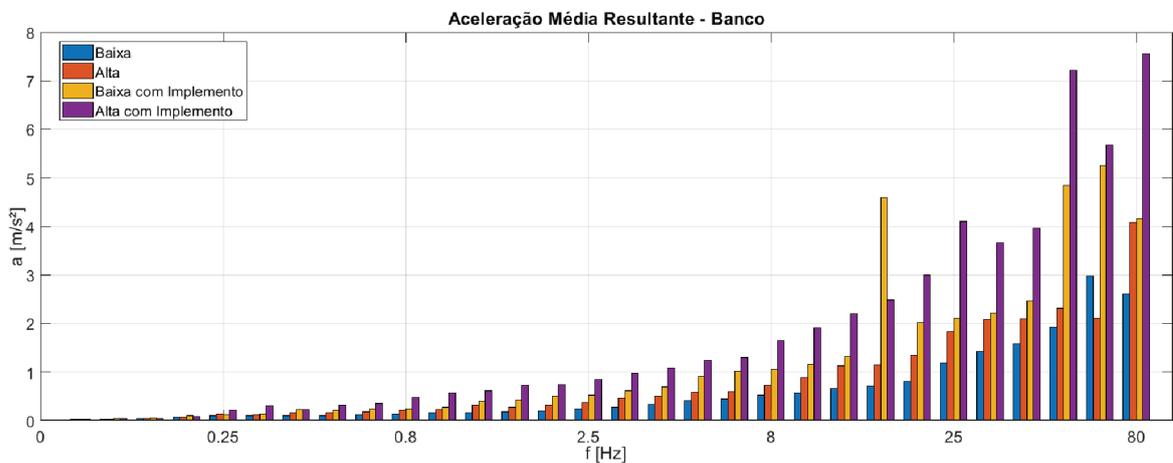
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para fins de análise, foram estipuladas as 8 condições para a realização das medições, como previamente mostrado na Tabela 6, onde foram variadas a rotação do motor, o acoplamento do implemento de corte e o uso de coxim para atenuar as vibrações no motor.

4.1 Vibrações no Banco

Assim, foram realizados os testes no banco para as quatro primeiras condições de funcionamento do trator, ainda sem a adição do coxim no motor, esses dados ajudam na caracterização da vibração que chega ao operador sentado. Os dados tratados variando entre 1 e 80 Hz em banda de terço de oitava podem ser vistos no gráfico da Figura 19.

Figura 19 – Aceleração média resultante no banco.



Fonte: O autor(2020).

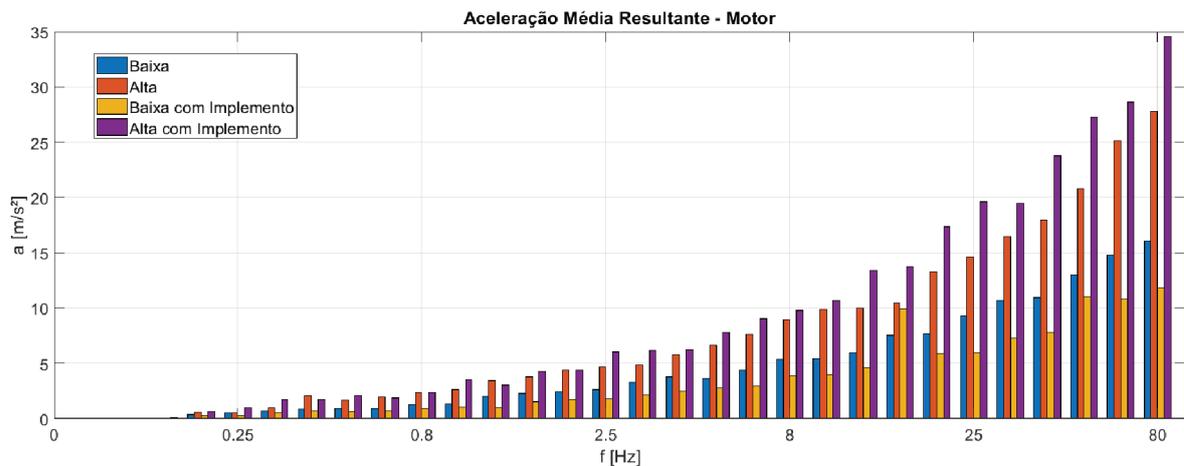
É possível perceber, que com o aumento da velocidade de rotação os níveis de vibrações são diretamente afetados, e a partir do acoplamento do implemento de corte, esse efeito é visto mais amplamente, principalmente nas frequências maiores, com o pico sendo em 80 Hz chegando em torno de $7,6 \text{ m/s}^2$.

4.2 Vibrações no motor

Os valores obtidos no motor são uteis para entender melhor como acontece a propagação das vibrações no trator, inclusive serve como referência para a transmissibilidade de vibrações antes e depois da utilização do coxim.

No gráfico da Figura 20, pode-se observar os dados encontrados para a aceleração média resultante no motor.

Figura 20 – Aceleração média resultante no motor.



Fonte: O autor(2020).

Diferente do comportamento observado no banco, a aceleração do motor tende a ter como principal influência a sua velocidade de rotação, isto é explicado pelo fato do motor servir como uma fonte de vibração, e o impacto do uso do implemento ser atenuado pela distância dessa segunda fonte. Os valores encontrados chegaram em uma frequência de 80 Hz, a uma aceleração média resultante de aproximadamente 35 m/s², esse alto valor reforça o efeito do motor como fonte de vibração.

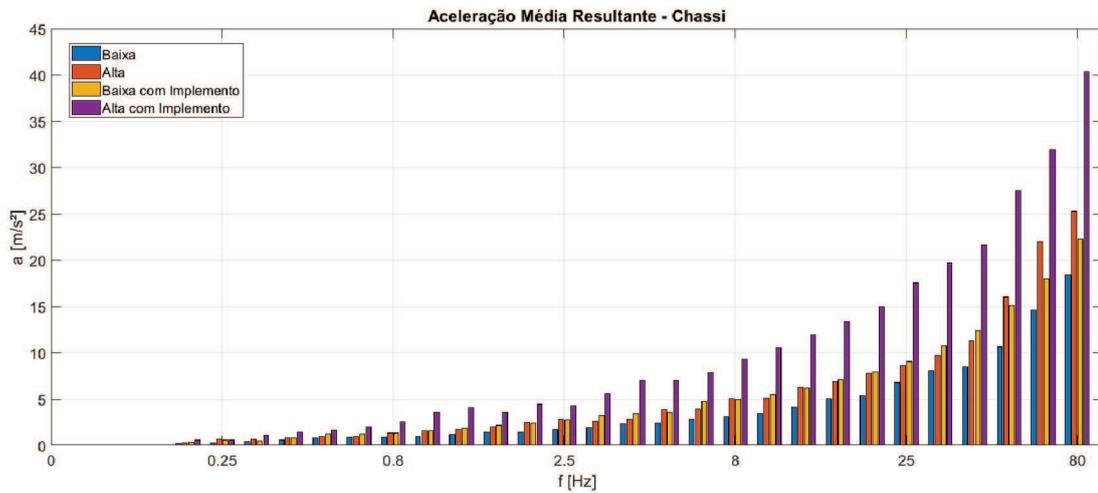
4.3 Vibrações no Chassi

Para as medições realizadas no chassi buscou-se posicionar o acelerômetro próximo a um dos pontos de fixação do motor, a fim de melhor estimar a transmissibilidade da ligação motor/chassi, antes e depois da adição do coxim.

Na Figura 21, pode-se observar o gráfico que representa os dados obtidos para a aceleração média resultante no chassi.

Nas menores frequências o comportamento observado se assemelha mais ao encontrado no banco, ou seja, os testes onde o implemento se encontrava acoplado tinha valores de aceleração mais altos, quando comparados aos testes sem implemento.

Figura 21 – Aceleração média resultante no chassi.



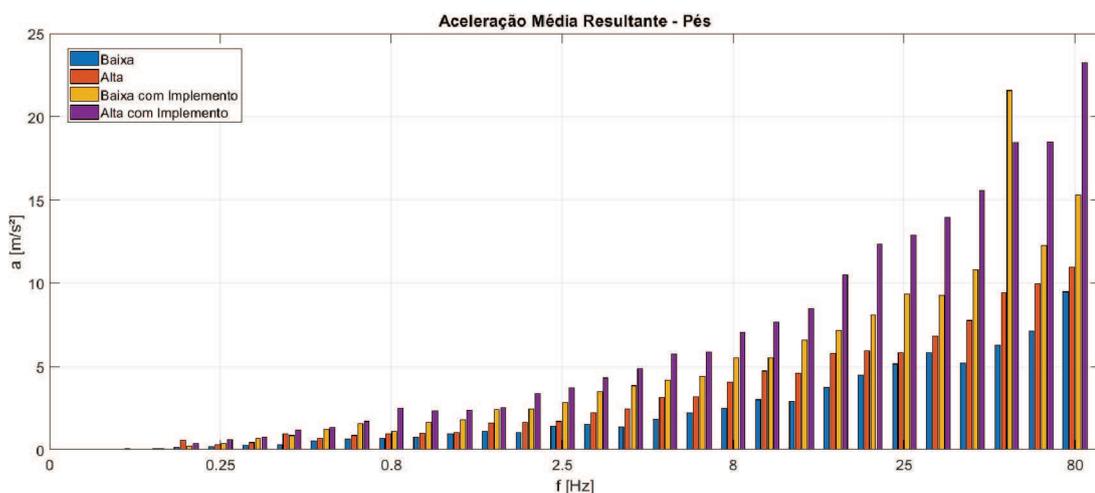
Fonte: O autor(2020).

Nas maiores frequências medidas, esse comportamento se alterou, com os valores obtidos no teste de alta rotação sem implemento ultrapassando os valores para baixa rotação com implemento, se assemelhando assim aos dados no motor.

4.4 Vibrações no Assoalho

As amplitudes de vibração no assoalho representam a incidência direta de vibração nos pés do operador. As medições ocorreram no ponto de contato pé com o assoalho de modo a caracterizar melhor essa interação. Os valores da aceleração média resultante podem ser vistos no gráfico da Figura 22.

Figura 22 – Aceleração média resultante no assoalho.



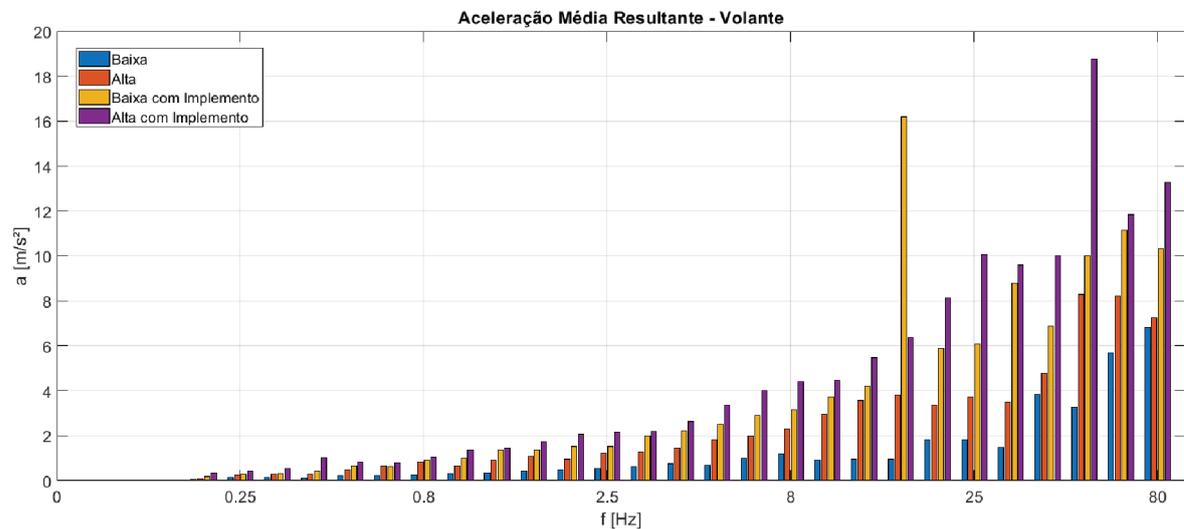
Fonte: O autor(2020).

Observa-se que a proximidade com o implemento influencia nos níveis de vibração observados no assoalho, em via de regra maiores valores são encontrados na condição de alta rotação com implemento, chegando a um pico de aproximadamente 24 m/s^2 em 80 Hz .

4.5 Vibrações no Volante

Os níveis de vibração no volante são transmitidos para as mãos do operador, caracterizando um caso de vibração em mãos e braços. No gráfico da Figura 23 se tem os valores encontrados para aceleração média resultante no volante.

Figura 23 – Aceleração média resultante no volante.



Fonte: O autor(2020).

Analisando dos dados obtidos para a aceleração no volante, constata-se um comportamento semelhante ao visto nos pés, porém com amplitudes inferiores, na casa de 18 m/s^2 no pico em 50 Hz .

4.6 Efeitos do coxim nos valores de aceleração

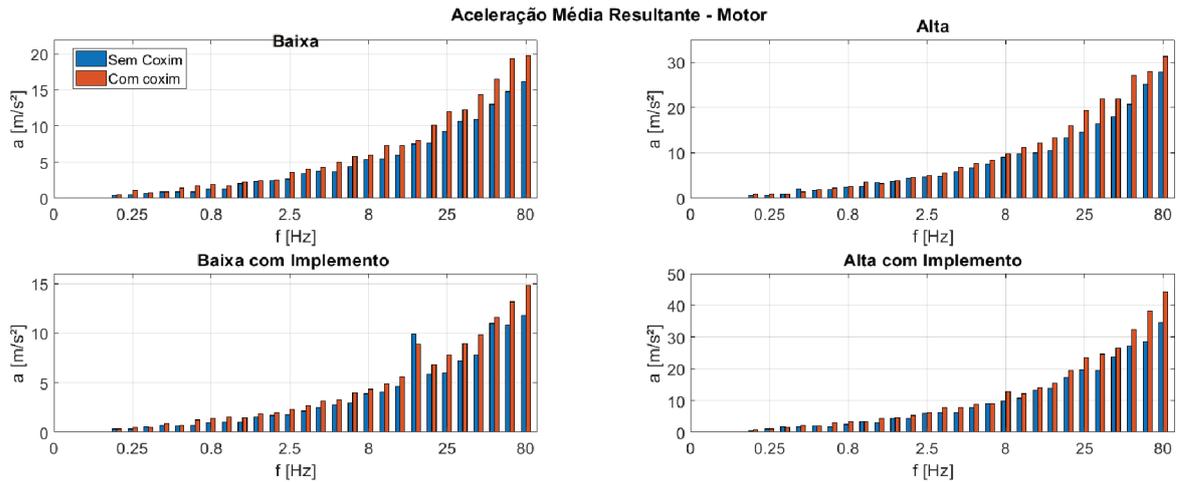
Após realizadas as medições iniciais, quando o equipamento estava na condição original sem coxim, foi então feita a instalação de 4 coxins nos pontos de ligação entre o motor e o chassi, de modo a tentar mitigar os efeitos da transmissibilidade de vibrações nestes pontos.

A partir deste ponto será feita uma comparação dos dados apresentados anteriormente com os dados encontrados após a instalação dos coxins.

4.6.1 Motor

O motor é um primeiro foco de análise, pois é dele a fonte de vibração que se busca atenuar com o uso dos coxins. No gráfico da Figura 24 estão representadas as comparações os níveis de vibração no motor nas condições com e sem coxim para cada um dos modos de operação do trator.

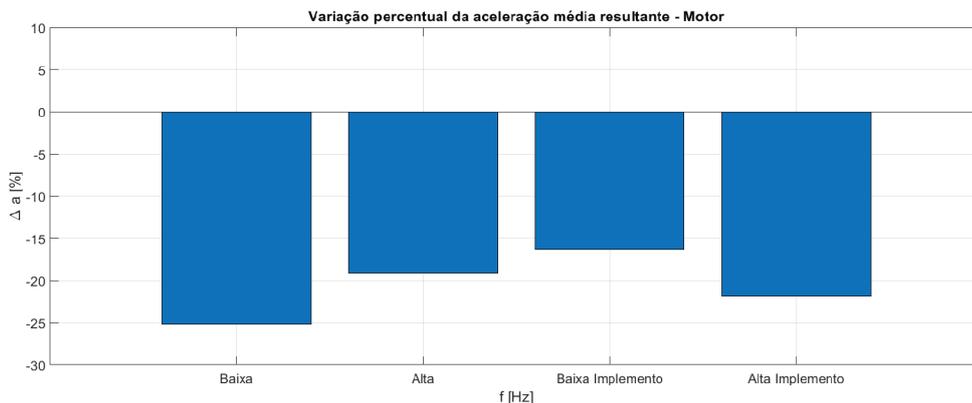
Figura 24 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o motor.



Fonte: O autor(2020).

É possível notar que no motor o efeito do coxim foi aumentar os níveis de vibração, isso se repete nas quatro condições testadas. No gráfico da Figura 25 é apresentada a variação média percentual para cada condição.

Figura 25 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o motor.



Fonte: O autor(2020).

O valor negativo da variação representa um aumento nos níveis de vibração, que chegou próximo a 25 % na situação mais extrema.

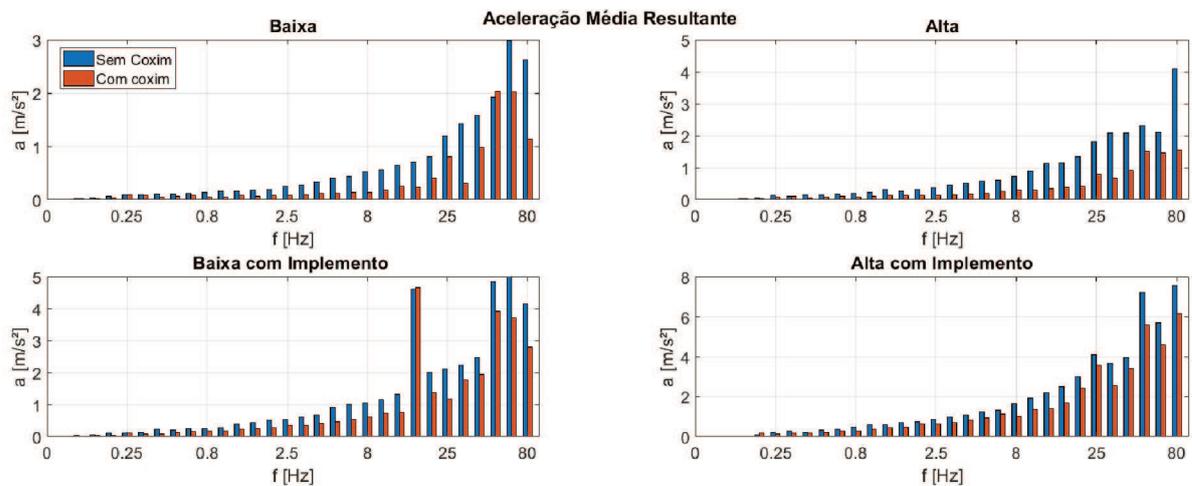
Essa influência pode ser explicada pela diminuição da firmeza no aperto da ligação motor/chassi e ainda pelo aumento proporcionado pelo tamanho do coxim, que

acaba levantando o motor em alguns milímetros.

4.6.2 Banco

Por ser um dos maiores pontos de transmissibilidade de vibração para o operador, o banco é um dos pontos mais críticos para a análise dos resultados obtidos pelo uso do coxim. Na Figura 26, está apresentado o gráfico que representa a comparação dos dados para o banco.

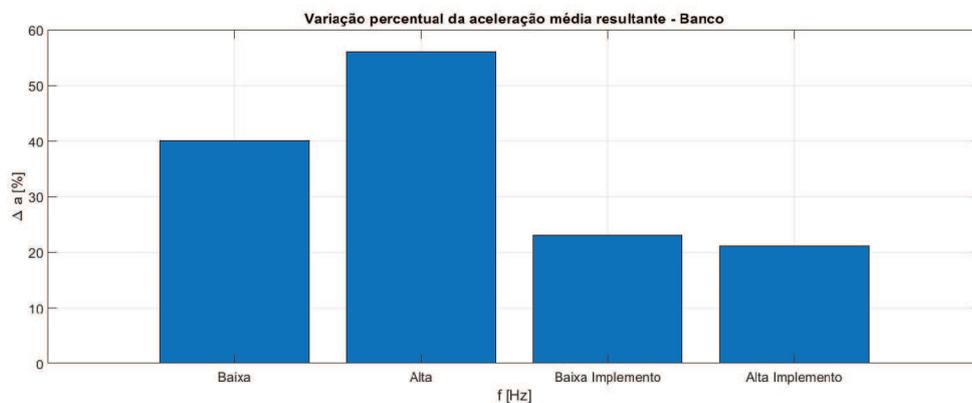
Figura 26 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o banco.



Fonte: O autor(2020).

Analisando os gráficos da Figura 26 é possível observar que principalmente para os casos onde não é usado o implemento, o coxim proporciona uma redução bastante considerável dos níveis de vibração, e mesmo com o implemento ainda pode ser vista uma redução interessante. Na Figura 27, são mostradas as diferenças percentuais médias para cada caso.

Figura 27 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o banco.



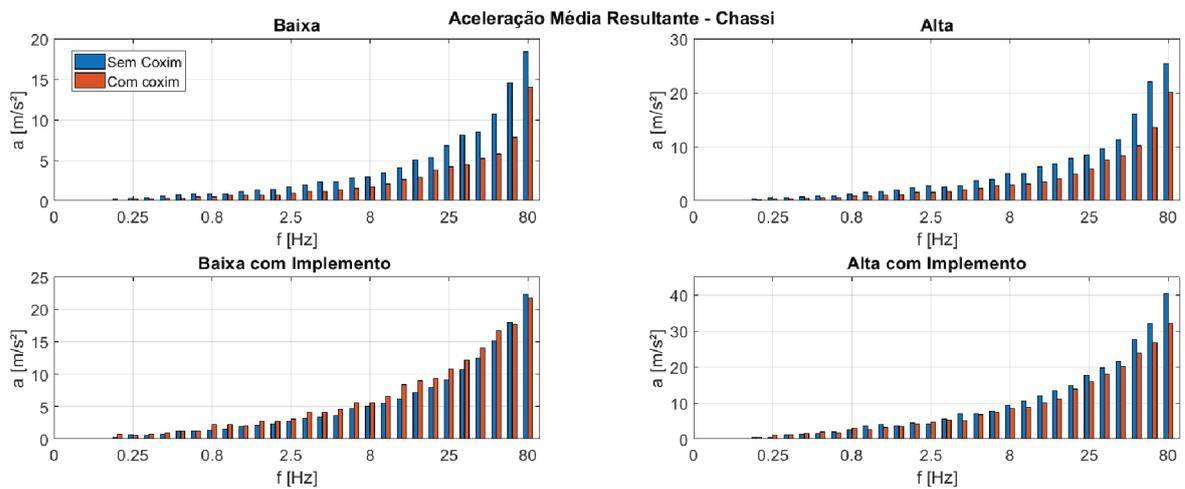
Fonte: O autor(2020).

Como dito anteriormente, a redução sem acoplamento foi de aproximadamente 40 % para baixa rotação e 55 % para alta, e com o acoplamento a redução foi de aproximadamente 22 % para baixa rotação e 20 % para alta.

4.6.3 Chassi

As medições realizadas no chassi, juntamente com os dados já apresentados referentes ao motor, podem dar um panorama interessante sobre a transmissibilidade da ligação motor/chassi. No gráfico da Figura 28, estão representados os resultados referentes a comparação do uso ou não do coxim no chassi.

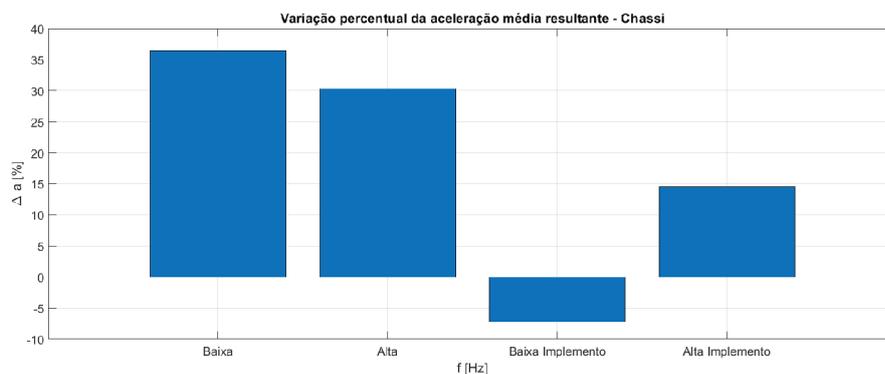
Figura 28 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o chassi.



Fonte: O autor(2020).

A partir dos gráficos da Figura 28, é possível notar que o efeito do coxim é visto de forma mais acentuada nos casos onde o implemento não está acoplado, ou seja, a principal fonte de vibração nessas condições de testes é do motor propriamente dito. No gráfico da Figura 29 estão representadas as variações da aceleração média resultante.

Figura 29 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o chassi.



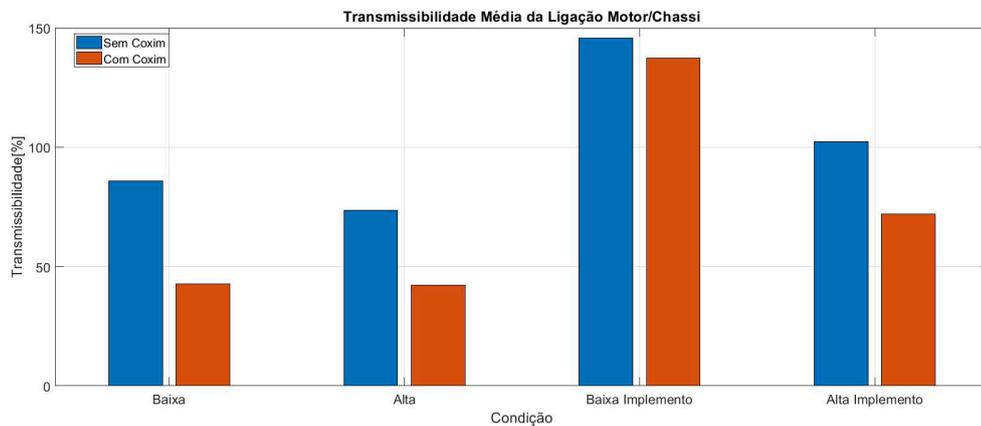
Fonte: O autor(2020).

Como supracitado as variações quando o implemento não está acoplado foram maiores e mostraram uma redução nos níveis de vibração de aproximadamente 36% e 30% para respectivamente baixa e alta rotação. Analisando as situações com implemento acoplado, quando em operação em baixa rotação ocorre um aumento de aproximadamente 7% nos níveis de, já em alta rotação ocorre uma redução de 15%.

O aumento nos níveis de vibração visto na condição de baixa com implemento, pode ser explicado por nessa condição, o implemento ser a maior fonte de vibração agindo sobre o chassi. Isso ocorre pois o motor em baixa rotação gera menos vibrações que a rotação da lâmina do implemento.

Na Figura 30 pode-se observar o gráfico que representa a transmissibilidade da ligação Motor/Chassi para cada uma das condições de teste.

Figura 30 – Transmissibilidade na ligação motor/chassi.



Fonte: O autor(2020).

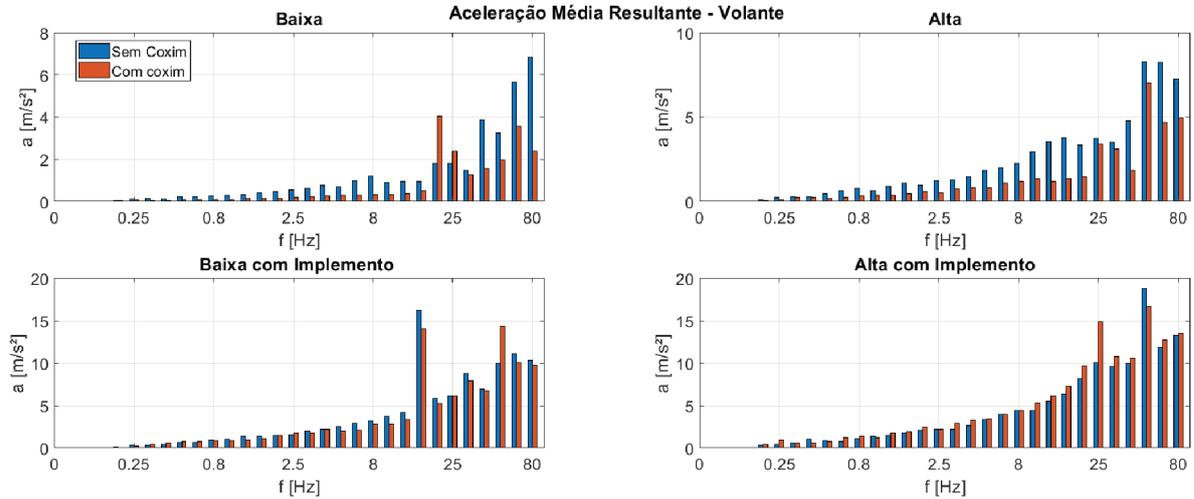
Observando o gráfico da Figura 30 é possível notar que o coxim proporcionou uma redução na transmissibilidade para todas as condições testadas, é interessante salientar que para o caso em baixa rotação com o implemento, onde havia sido constatada um aumento dos níveis de vibração no chassi, a transmissibilidade ainda foi reduzida pelo uso do coxim. Isso ocorre porque os níveis de vibração no motor também aumentaram na condição com coxim, logo o aumento no chassi é compensado para esse indicador.

No gráfico da Figura 30, é possível ainda observar a relação entre as fontes de vibração como dito anteriormente, isso fica claro ao observar-se a condição baixa com implemento, onde a transmissibilidade sem coxim chegava a valores próximos de 150%, e com o uso do coxim esse valor apresentou uma pequena redução. Um valor acima de 100% na transmissibilidade representa que o chassi está vibrando mais do que o próprio motor para essa condição, evidenciando a importância do implemento como fonte de vibração para essa condição.

4.6.4 Volante

As diferenças nos níveis de vibração no volante com ou sem coxim pode ser vista nos gráficos da Figura 31.

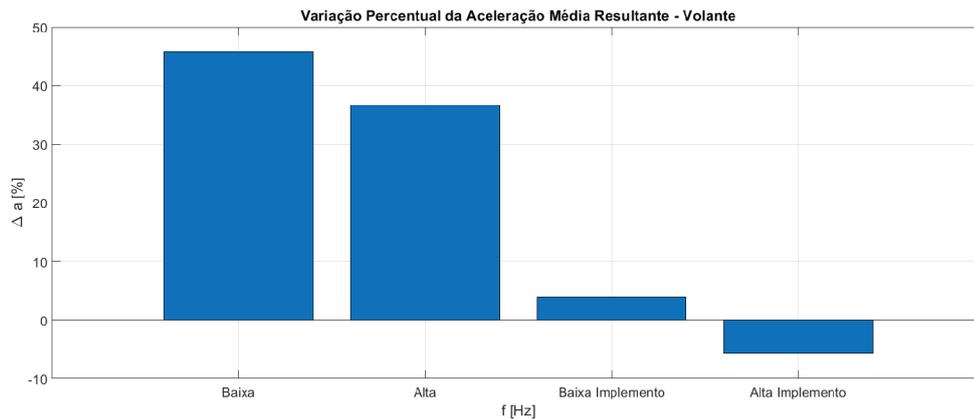
Figura 31 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o volante.



Fonte: O autor(2020).

É possível notar que o uso do coxim teve um grande impacto nos níveis de vibração, principalmente nas situações sem o uso do implemento, nos testes com o implemento acoplado essa diferença passa a ser menor, sendo até negativa para o caso de motor em alta rotação e implemento ativado. No gráfico da Figura 32 estão representadas as variações da aceleração média resultante.

Figura 32 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o volante.



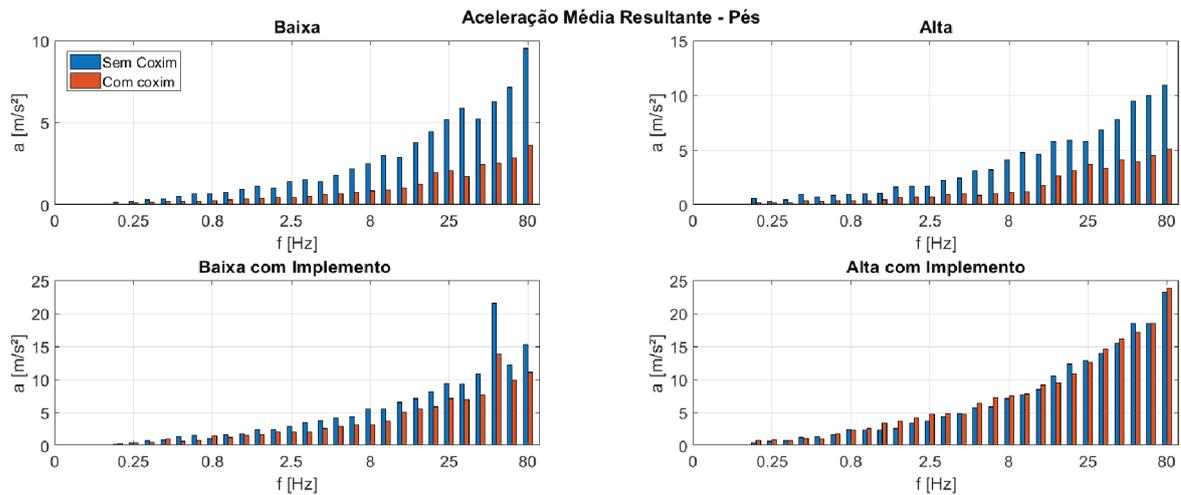
Fonte: O autor(2020).

Pelo gráfico da Figura 32 é possível visualizar melhor o efeito do coxim, e são confirmadas as conclusões anteriores de que sem o implemento os resultados são mais positivos.

4.6.5 Assoalho

Os dados de vibração referentes ao assoalho podem ser utilizados para calcular o indicador S.E.A.T, para possibilitar uma análise sobre a transmissibilidade do sistema de controle de vibração do assento. Esses dados podem ser observados no gráfico da Figura 33.

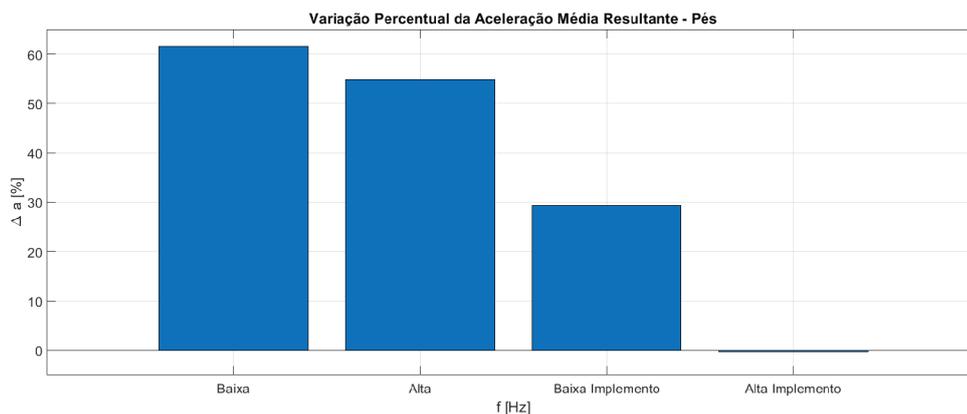
Figura 33 – Comparação entre uso ou não do coxim para cada condição para o assoalho.



Fonte: O autor(2020).

No gráfico da Figura 34 estão apresentadas as variações na aceleração para o assoalho, de acordo com o uso ou não do coxim.

Figura 34 – Variação percentual de acordo com o uso do coxim para o assoalho.



Fonte: O autor(2020).

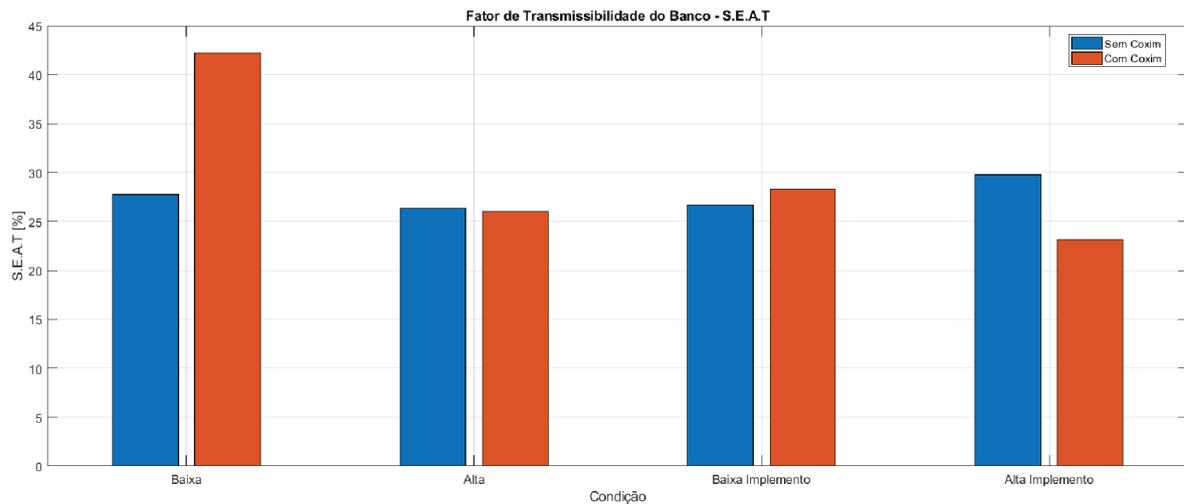
Observando no contexto geral, o uso do coxim surtiu um resultado positivo para a maior parte das condições, com exceção do caso para alta rotação com implemento, o qual teve um baixo efeito negativo, todas as outras condições obtiveram diminuições consideráveis na aceleração média resultante.

4.6.6 Transmissibilidade no assento (S.E.A.T)

A transmissibilidade do assento foi calculada com base nos níveis de vibração no assoalho e no próprio assento e representa o quanto da vibração que chega aos pés do operador é transmitida ao corpo dele pelo assento, possibilitando assim mensurar a eficiência do sistema de atenuação de vibração do banco.

Na Figura 35, pode-se observar um gráfico que representa a transmissibilidade (S.E.A.T) para cada uma das condições de testes realizadas.

Figura 35 – Fator de transmissibilidade do assento (S.E.A.T).



Fonte: O autor(2020).

A partir do gráfico da Figura 35 é possível observar que para todas as condições a transmissibilidade do assento é menor que 50%, isso consequentemente representa que o operador estão expostos a níveis cerca de 70% menores em média de vibrações de corpo inteiro pelo assento.

A comparação entre as condições com ou sem coxim por meio do indicador S.E.A.T não é tão direta, pois ela depende tanto dos níveis de vibração do assento quanto no assento. Um exemplo disso é para o caso em baixa rotação sem implemento, onde, a transmissibilidade com coxim parece ser em torno de 15% maior do que na condição sem coxim, essa informação não representa que a melhor condição de vibração seria sem coxim, pois como visto anteriormente na Figura 27 os níveis de vibração no banco diminuiram com a adição do coxim. Esse aumento no fator S.E.A.T apenas indica nesse caso que o uso do coxim implicou em uma diminuição maior nos níveis de vibração no assoalho, quando comparado ao banco.

4.7 Comparação dos valores obtidos com as normas vigentes

a fim de comparar com os normas vigentes que tratam de vibração ocupacional, é necessária a estipulação de uma jornada de trabalho, de modo que seja possível calcular os indicadores de exposição, “Valor de Dose de Vibração Resultante (VDVR) e “Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (aren)”. Para a aplicação escolhida, e considerando que o intuito é realizar uma caracterização do equipamento e não do operador, será utilizada apenas a "aceleração resultante de exposição normalizada" para estimar se os níveis de vibração estão dentro dos estipulados para as condições da saúde ocupacional do operador. O "valor de dose de vibração" é utilizado principalmente para o caso de uma fonte de vibrações que gere picos e "socos" não constantes.

Nos quadros das Tabelas 7 e 8 estão apresentados os critérios de julgamento e tomada de decisões para vibrações de “corpo inteiro” e “mãos e braços” respectivamente. A utilização destes permite uma melhor compreensão dos níveis de vibração aceitáveis impostos ao operador, bem como a necessidade de ações para remediar os problemas com vibrações.

Tabela 7 – Quadro de critérios de julgamento e tomada de decisões para vibrações de corpo inteiro.

Vibrações de Corpo inteiro		
aren (m/s ²)	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 0,5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
>0,5 a <0,9	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas
0,9 a 1,1	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
Acima de 1,1	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: Cunha e Giampaoli (2013a).

Tabela 8 – Quadro de critérios de julgamento e tomada de decisões para vibrações de corpo inteiro.

Vibrações em mãos e braços		
aren (m/s)	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
>2,5 a <3,5	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
Acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: Cunha e Giampaoli (2013b).

Nos quadros das Figuras 7 e 8 estão apresentados as possíveis faixas para

aren, a consideração técnica relacionada a cada faixa e a atuação recomendada.

Para fins de análise, foi optado por considerar duas condições extremas para cada caso, com e sem coxim, a primeira com a rotação baixa e a segunda com a rotação alta. Deste modo a segunda condição será a mais extrema, e representa melhor o uso durante o corte de grama, pois a velocidade do implemento depende diretamente da rotação do motor.

Na Tabela 9 estão apresentados os dados da jornada de trabalho considerados para o cálculo dos indicadores, a jornada escolhida foi de 4 ou 8 horas de exposição direta diária.

Tabela 9 – Jornadas adotadas para cálculo.

	Jornada Curta (horas)	Jornada Longa (horas)
Tempo Total de Exposição	4	8
Tempo Implemento Desligado	0,50	1,00
Tempo Implemento Ligado	3,5	7,00

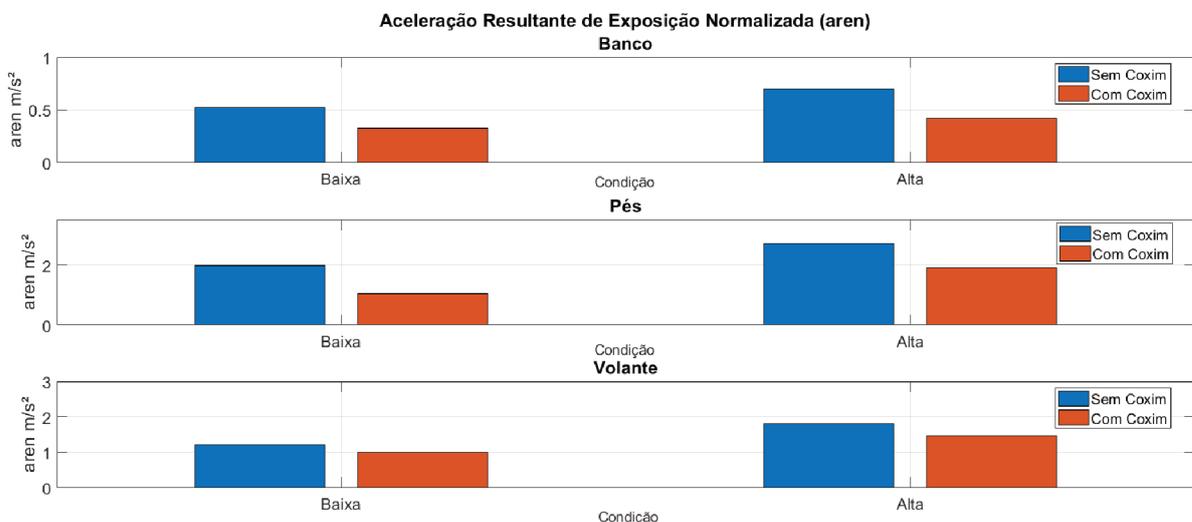
Fonte: O autor (2020)

Para selecionar os valores mostrados na Tabela 9, foi analisada a jornada de trabalho que segundo Costa (2015) tem exposição diária de 6 a 8 horas, foram então escolhidos valores, de modo que fosse possível observar primeiro a diferença que o tempo de exposição influi no operador, e também que uma jornada relativamente curta pode ser prejudicial ao operador dependendo dos níveis de vibração.

4.7.1 Jornada curta (aren)

No gráfico da Figura 36 estão representados os resultados referentes a aceleração resultante de exposição normalizada para a condição de jornada curta.

Figura 36 – Aceleração resultante de exposição normalizada para a jornada curta.



Fonte: O autor(2020).

As posições mais importantes para o caso do trator cortador de grama são a do banco (Vibrações de Corpo Inteiro) e no volante (Vibrações em Mãos e Braços), e considerando os casos críticos para essas posições que são em alta rotação, foram elaboradas as Tabelas 10 e 11, que compara os dados experimentais com os dados das Figuras 7 e 8 da norma, para o banco e o volante respectivamente.

Para a condição de jornada curta, de 4 horas de exposição diária, para vibrações de corpo inteiro, pode-se observar que a inclusão do coxim fez com que os valores obtidos para aren ficassem em um nível aceitável, enquanto sem o uso do coxim, se faz necessária a adoção de medidas preventivas. Para vibrações em mãos e braços os valores encontrados são aceitáveis tanto com coxim, quanto sem coxim.

Tabela 10 – Comparação dos dados obtidos com as normas de corpo inteiro.

Condição	Valor Experimental (m/s^2)	Faixa da Norma (m/s^2)	Consideração Técnica
Sem coxim	0,70	0,5 a 0,9	Acima do nível de ação
Com coxim	0,42	0 a 0,50	Aceitável

Fonte: O autor (2020)

Tabela 11 – Comparação dos dados obtidos com as normas de mãos e braços.

Condição	Valor Experimental (m/s^2)	Faixa da Norma (m/s^2)	Consideração Técnica
Sem coxim	1,82	0 a 2,50	Aceitável
Com coxim	1,47	0 a 2,50	Aceitável

Fonte: O autor (2020)

4.7.2 Jornada longa (aren)

No gráfico da Figura 37 estão representados os resultados referentes a aceleração resultante de exposição normalizada para a condição de jornada curta.

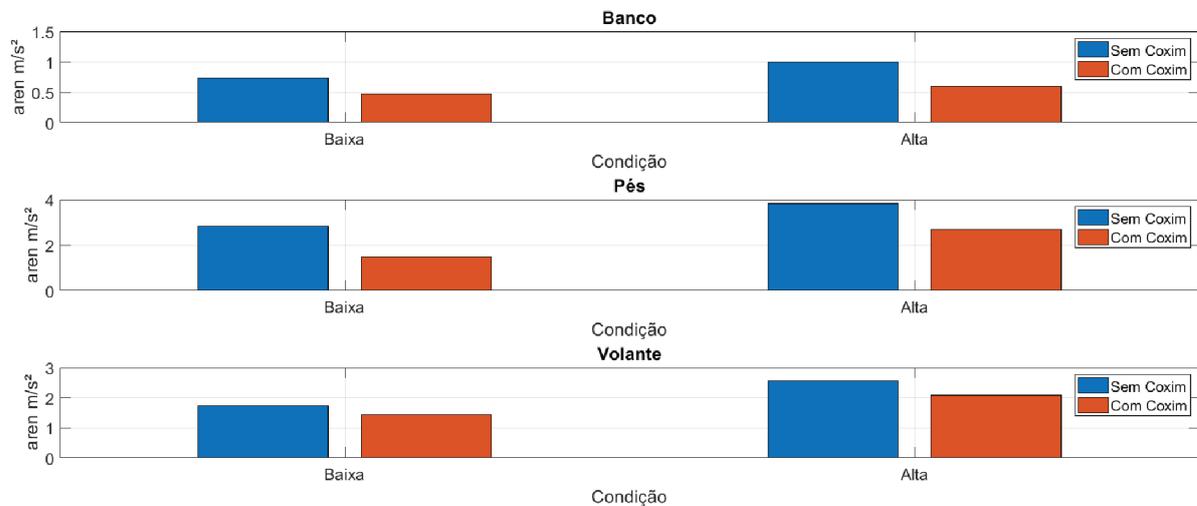
Nas Tabelas 12 e 13 estão dispostas as comparações entre os valores para a jornada longa e a norma.

Tabela 12 – Comparação dos dados obtidos com as normas de corpo inteiro.

Condição	Valor Experimental (m/s^2)	Faixa da Norma (m/s^2)	Consideração Técnica
Sem coxim	0,99	0,9 a 1,1	Região de incerteza
Com coxim	0,59	0,5 a 0,9	Acima do nível de ação

Fonte: O autor (2020)

Figura 37 – Aceleração resultante de exposição normalizada para a jornada longa.



Fonte: O autor(2020).

Tabela 13 – Comparação dos dados obtidos com as normas de mãos e braço.

Condição	Valor Experimental (m/s^2)	Faixa da Norma (m/s^2)	Consideração Técnica
Sem coxim	2,57	2,50 a 3,50	Acima do nível de ação
Com coxim	2,08	0 a 2,50	Aceitável

Fonte: O autor (2020)

Para a condição de jornada longa, com 8 horas de exposição diária, analisando vibrações de corpo inteiro, quando não é feito o uso coxim os níveis de vibrações encontrados estão na chamada região de incerteza, onde devem ser tomadas tanto medidas preventivas quanto corretivas, a fim de reduzir os níveis de vibração e a exposição diária, com o uso do coxim os níveis ficaram acima do nível de ação, onde no mínimo devem ser adotadas medidas preventivas. Já para vibrações em mãos e braços, quando não é feito o uso coxim os valores obtidos estão acima do nível de ação. Para o caso com coxim os níveis ficaram dentro dos limites aceitáveis.

Como esperado a análise da aceleração resultante de exposição normalizada confirmou que a utilização do coxim teve resultados consideráveis para diminuir os níveis de vibração aos quais o operador do trator é exposto, sendo que nas condições testadas foi possível ainda manter esses níveis dentro do recomendado pelas normas vigentes.

5 CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado foi possível caracterizar os níveis de vibração do trator cortador de grama da marca Toyama, visando entender como se dá a transmissão de vibrações ao operador. Foram realizadas as medições, seguindo as recomendações da ISO:8041 (2005), nos pontos principais para uma caracterização completa do equipamento, esses pontos foram no volante, assento e assoalho, de modo que os níveis de vibração nos principais pontos de contato entre o operador e o equipamento fossem conhecidos.

Além dos pontos de contato supracitados, também foi considerado um ponto de interesse a ligação do motor com o chassi do trator, onde fica uma grande fonte de vibrações no equipamento, por isso foram também realizadas medições no motor e no chassi próximos ao ponto de fixação do motor no chassi. Levando em conta a falta de métodos para mitigação das vibrações do motor, foi ainda feita a adição de um coxim a fim de atenuar a transmissibilidade nos pontos de fixação do motor.

Os níveis de vibração foram medidas no domínio da frequência, com o uso do coxim chegou-se a reduções de até 55% para o banco, 35% para o chassi, 45% no volante, 60% no assoalho e houve um aumento nos níveis apenas para o motor, onde houve um aumento de 25%. Foi calculada também a transmissibilidade do assento (S.E.A.T) que é de na média 25%, essa representa o quanto das vibrações medidas no assoalho chegam ao assento.

Com os dados obtidos nas medições foram então realizadas comparações com base nas normas de higiene ocupacional relacionadas a vibrações de corpo inteiro e vibração em mãos e braços vigentes no Brasil (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013a; CUNHA; GIAMPAOLI, 2013b). Com as avaliações é possível observar que a implementação do uso do coxim para atenuar os níveis de vibração apresentou um efeito positivo. Ao comparar os níveis obtidos nos testes com as faixas previstas por norma, pode-se notar que sem a utilização do coxim os níveis de vibração ultrapassaram os valores desejados, podendo assim trazer danos ao operador do trator, principalmente para jornadas mais longas. A partir do uso do coxim houve uma melhora substancial nos resultados, sendo que para os casos com coxim foram encontrados valores ou aceitáveis ou próximos dos aceitáveis. Ficou claro também a partir dos resultados obtidos a importância do tempo de exposição a vibrações para a saúde do operador, sendo de extrema importância o equilíbrio entre os níveis de vibração e o tempo de exposição.

Como sugestão para trabalhos futuros, surge a possibilidade de analisar novas

condições de operação do trator, como por exemplo, a operação em terrenos diferentes, onde espera-se o surgimento de uma fonte de vibração externa, provinda do contato dos pneus com o solo, outra possibilidade seria a realização de corte de grama, onde a lâmina teria contato com a grama, alterando o modo de vibrar da mesma. Outra possibilidade seria a introdução de um desbalanceamento na lâmina de modo a simular um desgaste desta, isso geraria novos tipos de vibração devido a rotação de uma massa desbalanceada. Uma análise interessante para ser considerada é um aprofundamento no estudo do coxim, alterando as propriedades do mesmo e comparando a transmissibilidade tanto no motor quanto na lâmina. Outro aspecto interessante para análise é o estudo do isolamento do operador e não das fontes de vibração, isso pode ser feito por meio de mudanças no sistema de suspensão do banco e por alterações no material do assento propriamente dito.

REFERÊNCIAS

ADAM, S. A.; JALIL, N. A. A. Vertical suspension seat transmissibility and seat values for seated person exposed to whole-body vibration in agricultural tractor preliminary study. **Procedia engineering**, Elsevier, v. 170, p. 435–442, 2017.

BOYSAL, A.; RAHNEJAT, H. Torsional vibration analysis of a multi-body single cylinder internal combustion engine model. **Applied Mathematical Modelling**, Elsevier, v. 21, n. 8, p. 481–493, 1997.

COSTA. Análise da vibração ocupacional por implementos de roçadeiras em diferentes tipos de vegetação rasteira. **ABEPRO**, n. 1, p. 1–14, 2015.

CUNHA, I.; GIAMPAOLI, E. Norma de higiene ocupacional: Nho 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. **São Paulo: Fundacentro**, 2013.

CUNHA, I.; GIAMPAOLI, E. Norma de higiene ocupacional: Nho 10: avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços: procedimento técnico. **São Paulo: Fundacentro**, 2013.

CVETANOVIC, B. et al. An analysis of the impact of agricultural tractor seat cushion materials to the level of exposure to vibration. **Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 36, n. 2, p. 116–123, 2017.

ENDEVCO. **Steps to selecting the right accelerometer**. Endevco Newsletters, 2017. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20171214072240/https://endevco.com/news/newsletters/2012_07/tp327.pdf>.

GRAHAM, K. S. **Fundamentals of mechanical vibrations**. McGraw-Hill, 2000.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. [S.l.]: Academic press, 1990.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. **Ergonomia: projeto e produção**. [S.l.]: Editora Blucher, 2016.

ISO:8041, S. 8041: 2005. **Human response to vibration—Measuring instrumentation**, 2005.

KABIR, M. S. N. et al. Measurement and evaluation of whole body vibration of agricultural tractor operator. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 1, p. 248–255, 2017.

KJAER, B. . **Product Data: Triaxial CCLD Accelerometer Types 4535-B, 4535-B-001 and 4535-B-003**. Bruel & Kjaer, Catalogo de produtos, 2020. Disponível em: <<https://www.bksv.com/pt-BR/products/transducers/vibration/Vibration-transducers/accelerometers/4535-B>>.

LALLART, M. **Vibration control**. [S.l.]: BoD–Books on Demand, 2010.

LMS. **LMS Pimento - The Multichannel Analyzer with Portable Power**. LMS International, 2003. Disponível em: <https://www.upc.edu/sct/es/documents_equipment/d_236_id-723.pdf>.

MANSFIELD, N. J. **Human response to vibration**. [S.l.]: CRC press, 2004.

NEITZEL, R.; YOST, M. Task-based assessment of occupational vibration and noise exposures in forestry workers. **AIHA journal**, v. 63, n. 5, p. 617–627, 2002.

NEWPORT, M. **Self-Leveling Compact Pneumatic Vibration Isolator**. Newport, Catalogo de produtos, 2020. Disponível em: <<https://www.newport.com/f/self-leveling-compact-pneumatic-vibration-isolators>>.

NEWPORT, M. **Sorbothane Breadboard Vibration Isolation Mounting Feet**. Newport, Catalogo de produtos, 2020. Disponível em: <<https://www.newport.com/f/optical-breadboard-vibration-isolators>>.

NEWPORT, M. **VIBe™ VIB320 Mechanical Vibration Isolators**. Newport, Catalogo de produtos, 2020. Disponível em: <<https://www.newport.com/f/vib320-mechanical-vibration-isolators>>.

SILVA PINHO, M. da et al. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista Ciência Agronômica**, Universidade Federal do Ceará, v. 45, n. 3, p. 461–468, 2014.

RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. [S.l.]: Pearson Educación, 2009.

SANDI, J. et al. Vibração ocorrente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola em ensaio padronizado. **JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE**, v. 5, n. 2, p. 54–61, 2018.

SANTOS, L. N. dos et al. Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**, v. 22, n. 2, p. 112–118, 2014.

STRATTON, B. . **Manual do operador motor Briggs & Stratton 31R9070038 G1**. Briggs & Stratton, Catalogo de produtos, 2020. Disponível em: <https://www.briggsandstratton.com/la/pt_br/support/manuals/results.multiStepManualSearch.html?searchrequested=31r907-0038-g1>.

TOYAMA. **Ficha técnica trator cortador de grama dirigível 13AN775S308**. Toyama, Catalogo de produtos, 2019. Disponível em: <<https://toyama.com.br/?menu=produtos&produto=Cortador%20de%20Grama%20Dirig%C3%ADvel%20-%2013AN775S308&cod=509>>.

TURHAN, Ö.; BULUT, G. Linearly coupled shaft-torsional and blade-bending vibrations in multi-stage rotor-blade systems. **Journal of Sound and Vibration**, Elsevier, v. 296, n. 1-2, p. 292–318, 2006.